

ISSN (Print) 2616-7263
ISSN (Online) 2663-1261

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ
BULLETIN
of L.N. Gumilyov
Eurasian National University

ВЕСТНИК
Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY Series

Серия ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ

№ 2(139)/2022

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Нұр-Сұлтан, 2022

Nur-Sultan, 2022

Нур-Султан, 2022

Бас редакторы **Тогизбаева Б.Б.**
т.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Бас редактордың орынбасары **Жусупбеков А.Ж.**
т.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Жауапты редактор **Закирова А.Б.**
п.ғ.к. (комп. ғылымдар), доцент, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Редакция алқасы

Акира Хасегава	проф., Хачинохе технологиялық институты, Хачинохе, Жапония
Акитоши Мочизуки	проф., Токусима Университеті, Токусима, Жапония
Базарбаев Д.О.	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Дер Вэн Чанг	проф., Тамкан Университеті, Тайбэй, Тайвань
Жумагулов М.Г.	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Йошинори Ивасаки	проф., Геологиялық зерттеулер институты, Осака, Жапония
Калякин В.Н.	проф., Делавер Университеті, Ньюарк, АҚШ
Куц С.	проф., Краков технологиялық университеті, Краков, Польша
Сахапов Р.Л.	проф., Қазан мемлекеттік сәулет-құрылыс университеті, Қазан, Ресей
Тадатсугу Танака	проф., Токио Университеті, Токио, Жапония
Тулбекова А.С.	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Хое Линг	проф., Колумбия Университеті, Нью-Йорк, АҚШ
Утепов Е.Б.	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Чекаева Р.У.	а.к., проф., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Шахмов Ж.А	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Юн Чул Шин	проф., Инчон ұттық университеті, Инчон, Оңтүстік Корея

Редакцияның мекен жайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Сәтбаев к-сі, 2,
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 402 б.
Тел: +7 (7172) 709-500 (ішкі 31-410). E-mail: vest_techsci@enu.kz

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы
ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы

Меншіктенуші: КеАҚ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті"

Мерзімділігі: жылына 4 рет

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігімен тіркелген

19.04.2021ж. № KZ31VPY00034682 қайта есепке қою туралы куәлігі

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Қажымұқан к-сі 13/1

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Тел: +7 (7172) 709-500 (ішкі 31-410). Сайт: <http://bultech.enu.kz>

Editor-in-Chief **Baglan Togizbayeva**
Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan
Deputy Editor-in-Chief **Askar Zhussupbekov**
Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan
Executive editor **Alma Zakirova**
Assoc. Prof. (comp. sci.), L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Editorial board

Akira Hasegwa	Prof., Hachinohe Institute of Technology, Hachinohe, Japan
Akitoshi Mochizuki	Prof., University of Tokushima, Tokushima, Japan
Daniyar Bazarbayeva	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
Der Wen Chang	Prof., Tamkang University, Taipei, Taiwan (ROC)
Mihail Zhumagulov	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
Yoshinori Iwasaki	Prof., Geo Research Institute, Osaka, Japan
Viktor Kalakin	Prof., University of Delaware, Newark, Delaware, USA
Sabina Kuc	Prof., Cracow University of Technology, Cracow, Poland
Rustem Sakhapov	Prof., Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia
Tadatsugu Tanaka	Prof., University of Tokyo, Tokyo, Japan
Tulebekova Assel	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
Hoe Ling	Prof., Columbia University, New York, USA
Yelbek Utepov	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
Rahima Chekaeva	Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
Zhanbolat Shakhmov	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
Eun Chul Shin	Prof., Incheon National University, Incheon, South Korea

Editorial address: 2, Satpayev str., of. 402,
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan, 010008
Tel.: +7 (7172) 709-500 (ext. 31-410), E-mail: vest_techsci@enu.kz

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University

TECHNICAL SCIENCES and TECHNOLOGY Series

Owner: Non-profit joint-stock company «L.N. Gumilyov Eurasian National University»

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan

Rediscount certificate № KZ31VPY00034682 from 19.04.2021

Address of Printing Office: 13/1 Kazhimukan str., Nur-Sultan, Kazakhstan 010008

L.N. Gumilyov Eurasian National University

Tel: +7 (7172) 709-500 (ext.31-410). Website: <http://bultech.enu.kz>

Главный редактор **Тогизбаева Б.Б.**
д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Зам. главного редактора **Жусупбеков А.Ж.**
д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Ответственный редактор **Закирова А.Б.**
к.п.н. (комп. науки), доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Редакционная коллегия

Акира Хасегава	проф., Технологический институт Хачинохе, Хачинохе, Япония
Акитоши Мочизуки	проф., Университет Токусима, Токусима, Япония
Базарбаев Д.О.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Дер Вэн Чанг	проф., Тамканский Университет, Тайбэй, Тайвань
Жумагулов М.Г.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Йошинори Ивасаки	проф., Институт геологических исследований, Осака, Япония
Калякин В.Н.	проф., Делаверский Университет, Ньюарк, США
Куц С.	проф., Краковский технологический университет, Краков, Польша
Сахапов Р.Л.	проф., Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань, Россия
Тадатсугу Танака	проф., Токийский Университет, Токио, Япония
Тулбекова А.С.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Хое Линг	проф., Колумбийский университет, Нью-Йорк, США
Утепов Е.Б.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Чекаева Р.У.	к.а., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Шахмов Ж.А	PhD, доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Юн Чул Шин	проф., Инчхонский национальный университет, Инчхон, Южная Корея

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2,
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, каб. 402
Тел: +7(7172) 709-500 (вн. 31-410). E-mail: vest_techsci@enu.kz

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева

Серия ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Собственник: НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева»

Периодичность: 4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан

Свидетельство о постановке на переучет № KZ31VPY00034682 от 19.04.2021 г.

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Кажымукана, 13/1,

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Тел.: +7(7172)709-500 (вн.31-410). Сайт: <http://bultech.enu.kz>

МАЗМҰНЫ/ CONTENTS/ СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ахаева Ж.Б., Закирова А.Б., Толегенова Г.Б. «Ақылды қалаларындағы» мультиагентті жүйелерді талдау</i> <i>Akhaeva Zh.B., Zakirova A.B., Tolegenova G.B. Analysis of Multi-agent systems in Smart Cities</i> <i>Ахаева Ж.Б., Закирова А.Б., Толегенова Г.Б. Анализ мультиагентных систем в «умных городах»</i>	7
<i>Байгенжинов К.А., Байхожаева Б.У., Жүсіпов А.Г., Қамбарова Ж.М., Есімова Ж.А. Рапс және зығыр майларының тотығуына әсер ететін сапалық көрсеткіштер</i> <i>Baigenzhinov K.A., Baikhozhaeva B.U., Zhusipov A.G., Kambarova Zh.M., Yessimova Zh.A. Qualitative indicators affecting the oxidation of rapeseed and linseed oils</i> <i>Байгенжинов К.А., Байхожаева Б.У., Жусипов А.Г., Камбарова Ж.М., Есимова Ж.А. Качественные показатели, влияющие на окисление рапсового и льняного масел</i>	20
<i>Басыня Е.А., Сафронов А.В. Кәсіпорынның ақпараттық инфрақұрылымы оқиғаларының орталықтандырылмаған тізілімін қалыптастыру әдісі</i> <i>Basinya E.A., Safronov A.V. The method of forming a decentralized register of events of the information infrastructure of the enterprise</i> <i>Басыня Е.А., Сафронов А.В. Метод формирования децентрализованного реестра событий информационной инфраструктуры предприятия</i>	40
<i>Буранбаева А., Жүсүпбеков А. Нұр-Сұлтан қаласындағы Абу-Дабби Плаза құрылысы жобасының іргетасын бақылау кезінде таратылған талшықты-оптикалық сенсорлардың өнімділігін сынау</i> <i>Buranbayeva A., Zhussupbekov A. Commissioning Test of Distributed fiber-optics sensors during foundation monitoring of the Abu Dhabi Plaza construction project in Nur-Sultan City</i> <i>Буранбаева А., Жүсүпбеков А. Эксплуатационные испытания распределенных волоконно-оптических датчиков при мониторинге фундамента строительного проекта Abu Dhabi Plaza в городе Нур-Султан</i>	51
<i>Иманбаев Е.Б., Шеров К.Т., Мардонов Б.Т., Махмудов Л.Н., Өсербаев М.Т., Қуанов И.С. Термофрикционды фрезерлеудің әртүрлі әдістерімен өңдеу кезінде балқымаланған беттің қаттылығын тәжірибелік зерттеу</i> <i>Imanbaev E.B., Sherov K.T., Mardonov B.T., Mahmudov L.N., Ussebaev M.T., Kuonov I.S. Experimental study of the hardness of the deposited surface with various methods of thermofriction milling</i> <i>Иманбаев Е.Б., Шеров К.Т., Мардонов Б.Т., Махмудов Л.Н., Усербаев М.Т., Куанов И.С. Экспериментальное исследование твердости наплавленной поверхности при различных способах термофрикционного фрезерования</i>	62
<i>Исаметова М.Е., Абсадыков Б.Н., Базарбай Б.Б., Смаилова Г.А., Калмаганбетов С.А., Дешевский Н. Бөлшектерді қабатты өсірудің технологиялық процесінде пайдаланылатын металл полимерлі композитті материалдардың механикалық қасиеттерін компьютерлік модельдеу және верификациялау</i> <i>Isametova M.E., Absadykov B.N., Bazarbay B.B., Smailova G.A., Kalmaganbetov S.A., Deshevsky N. Computer modeling and verification of mechanical properties of metal-polymer composite materials used in the technological process of layer-by-layer growing of parts used in the technological process of layer-by-layer growing</i> <i>Исаметова М.Е., Абсадыков Б.Н., Базарбай Б.Б., Смаилова Г.А., Калмаганбетов С.А., Дешевский Н. Компьютерное моделирование и верификация механических свойств металлополимерных композитных материалов, используемых в технологическом процессе послойного выращивания деталей</i>	72

- Комбаев К.К., Ахмадиев Р.Б., Касенова А.Б., Елеманов Д.С., Токтарбаева Г.М., Сытайнова Г.С.** Сына бағаналарының жабдықтарының 20Х болатты электролиттік-плазмалық шынықтыру арқылы беріктендіру
Kombaev K.K., Ahmadiev R.B., Kassenova A.B., Elemanov D.S., Toktarbaeva G.M., Syrainova G.S. Strengthening of the steel 20X of the binding of wedge columns by electrolyte-plasma hardening
Комбаев К.К., Ахмадиев Р.Б., Касенова А.Б., Елеманов Д.С., Токтарбаева Г.М., Сытайнова Г.С. Упрочнение стали 20Х обвязки колонн клиновых электролитно-плазменной закалкой 86
- Құдабаев Р.Б., Жумабаев А.А., Сүлейменов У.С., Қамбаров М.А., Риставлетов Р.А., Калишабекова Е.Н.** Жылуаккумуляциялаушы материалдың фазалық ауысуы кезіндегі жылу берудің математикалық моделі
Kudabaev R.B., Jumabayev A.A., Suleimenov U.S., Kambarov M.A., Ristavletov R.A., Kalshabekova E.N. Mathematical model of heat transfers during phase transition of heat storage material
Құдабаев Р.Б., Жумабаев А.А., Сүлейменов У.С., Қамбаров М.А., Риставлетов Р.А., Калишабекова Э.Н. Математическая модель теплообмена при фазовом переходе теплоаккумулирующего материала 102
- Майборода О.В., Каленов Г.К., Мүстаяп М.Б.** Көлік құралдарының CO₂ шығарындыларын азайту жолдарын талдау
Mayboroda O.V., Kalenov G.K., Mustayap M.B. Analysis of ways to reduce CO₂ emissions by vehicles
Майборода О.В., Каленов Г.К., Мүстаяп М.Б. Анализ путей уменьшения выбросов CO₂ транспортными средствами 111
- Молдахметова А.Е., Канаев А.Т., Сайдұллаева М.А., Сарсембаева Т.Е.** Плазмалық шыңдау кезінде конструкциялық болаттан жасалған ауыр жүктелген бөлшектердің беткі қабатының құрылымын өзгерту
Moldakhmetova A.Y., Kanayev A.T., Saidullayeva M.A., Sarsembayeva T.E. Changes in the structure of the surface layer of heavily loaded parts from structural steel with plasma hardening
Молдахметова А.Е., Канаев А.Т., Сайдұллаева М.А., Сарсембаева Т.Е. Изменения структуры поверхностного слоя тяжело нагруженных деталей из конструкционной стали при плазменной закалке 119
- Пак И.А., Баурова Н.И., Курмашева Б.К., Карсакова А.Ж., Кадырова И.А.** Қалалық автобустардың пайдаланылған газдарды ультрадыбыстық тазарту құрылғыларының техникалық-экономикалық тиімділігі
Pak I.A., Baurova N.I., Kurmasheva B.K., Karsakova A.Zh., Kadyrova I.A. Technical and Economic Efficiency of Devices for Ultrasonic Cleaning of City Bus Exhaust Gases
Пак И.А., Баурова Н.И., Курмашева Б.К., Карсакова А.Ж., Кадырова И.А. Техничко-экономическая эффективность устройств ультразвуковой очистки отработавших газов городских автобусов 133
- Сақытбекова М.Ж.** Пуассон теңдеуін шешу үшін тиімді жоғары өнімді есептеулерді жасау
Sakypbekova M. Zh. Development of an effective high-performance computation for solving the Poisson equation
Сақытбекова М.Ж. Разработка эффективного высокопроизводительного вычисления для решения уравнения Пуассона 143
- Файзуллаева Н.Н.** Ислам философиясының дәстүрлі Бұхара тұрғын үйінің қалыптасуына әсері
Faizullayeva N.N. The influence of Islamic philosophy in the formation of traditional housing in Bukhara
Файзуллаева Н.Н. Влияние исламской философии в формировании традиционного жилья Бухары 152



Ж.Б. Ахаева^{1,2}, А.Б. Закирова², Г.Б. Толегенова^{1,2}

¹Астана Халықаралық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

E-mail: ahaeva07@mail.ru, alma_zakirova@mail.ru, gulnaztolegenova@mail.ru

«Ақылды қалаларындағы» мультиагентті жүйелерді талдау

Аңдатпа. Қалалар тұрғындар санының өсіп келе жатуына байланысты жаңа мәселелерге тап болды; тарихта алғаш рет халықтың көп бөлігі қазір мегаполисте тұрады. Қалыптасқан жағдайды ескере отырып, қала жаңа шешімдерді жүзеге асыруы керек, яғни өз азаматтарына қауіпсіздік, денсаулық сақтау, ресурстар, үкімет, білім беру және басқа да қалалық жүйелермен байланысты талаптарға жауап беретін жүйелерді ұсынуы арқылы Ақылды қала болуы керек. Осы мақаланың мақсаты - Ақылды қаланы іске асыру үшін қайта жаңғыртылатын және экспортталатын модельді анықтайтын базалық инфрақұрылым ретінде қала интеллектісін қамтамасыз ететін мультиагенттік жүйелерді қолдана отырып, Ақылды қала моделін зерттеу. Бұл мақалада мультиагенттік жүйелерді қолдана отырып, ақылды шетелдік қалаларға талдау жасалады, сонымен қатар мультиагенттердің өздері де жұмыс істегені.

Кілт сөздер: ақылды қала, көп агентті жүйелер, үлкен деректер, «Интернет заттар» технологиясы, АКТ.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-139-2-7-19

Кіріспе

Әлемнің кез-келген елінде қала халқының тез өсуіне байланысты ірі қалалар үлкен мегаполистерге айналады. Ал мұндай қалалар ауаның ластануы, көлік инфрақұрылымының жоқтығы, экономикалық ландшафтың белгісіздігі, халық санының көптігі және жұмыссыздық сияқты үлкен қауіп-қатерге тап болуы – айтылған қауіптердің бірнешеуі ғана – бұл қазіргі уақытта ақпараттық-коммуникациялық технологияларды дұрыс қолдану арқылы ішінара шешуге болатын мәселелер.

Ақылды қалалар тұжырымдамасына қолданылатын технологиялар қаламен өзара байланысты болатын болашақты құруға көмектеседі, ал азаматтар мен қызметтер арасындағы қатынастар инновациялық мүмкіндіктері бар орта жасайды. Бағдарламалық шешімдердің маңыздылығы қоғамға қалалық қызметтердің негізгі жүйелерімен тиімді өзара әрекеттесуге мүмкіндігі болып табылады.

Ақылды қаланы қарастыра отырып, тұрақты экономикалық дамуды және өмірдің жоғары сапасын құратын, көптеген негізгі салаларда, экономикада, ұтқырлықта, қоршаған ортада, адамдарда, өмірде және үкіметте озық дамыған қала аймағын ұсынамыз [1]. Осы негізгі салаларда күшті адами капитал, әлеуметтік капитал және ақпараттық-коммуникациялық технологиялар инфрақұрылымы (АКТ) арқылы табысқа жетуге болады [2].

Ақылды қала – болашақ даму мақсаттары болып табылатын жасыл энергия көздері мен жүйелерін, энергия тиімділігін, тұрақты ұтқырлықты, қоршаған ортаны қорғауды және экономикалық тұрақтылықты біріктіретін үлгіні құру арқылы қалалық кеңістік туралы ойлаудың жаңа тәсілі [3].

Ақылды қалаға қажет әр түрлі аспектілер: ақылды жерлерді құру үшін қаланың қажеттіліктерінен және алға қойылған мақсаттардан туындайтын, цифрлық инновацияларды өзгеріс мақсаты ретінде емес, құрал ретінде анықтайтын, әртүрлі жүйелерді (қашықтықтан бақылау жүйелері, шешім қабылдау және жоспарлау жүйелері, байланыс жүйелері және т.б.) қамтитын мультидисциплинарлық және кешенді тәсіл қажет. Ол қазірдің өзінде нарықта қол жетімді және мультиагентті пайдаланатын әртүрлі Ақылды қалалық ішкі желілерді қамтиды[4]:

- Ұтқырлық, көлік және логистика, ұтқырлықты басқарудың озық шешімдері. Қажет орындарға жету және көрші аудандармен сауда жасау және олар инфрақұрылымды (тұрақ, жолдар және т.б.), жабдықтар мен құралдарды (қоғамдық көлік, велосипедтер және т.б.) тиімді басқара алатыны туралы қозғалыс деректері.

- Энергетика және интеллектуалды құрылыс: осы саладағы контекст қалаларға арналған әртүрлі интеллектуалды жүйелерді, сондай-ақ интеллектуалды желілерді енгізуді қамтиды.

- Қаланың қоғамдық қауіпсіздігі: қалалық қылмыс, табиғи апаттар мен төтенше жағдайлар, адамдар мен көлік қауіпсіздігі «қалалық қауіпсіздік» жүйелерін қажет етеді, бұл барлық қалалық аудандарды жақсарту үшін оқиғаларды бақылау.

- Қоршаған орта және табиғи ресурстар: табиғи ресурстарды басқару, өңдеу және жаңғырту және табиғатты қорғау үшін технологиялар мен бизнес-модельдерді әзірлеу арқылы әділеттілік пен тұрақтылық қағидаттарына сәйкес табиғи ресурстарды басқаруды оңтайландыру қажет.

- Туризм және мәдениет: бұл аспект мәдени мұра материалдары мен материалдық емес құндылықтарды диагностикалау, қалпына келтіру, сақтау және цифрландыру, цифрландыру және туристік сектордың бәсекеге қабілеттілігін арттыру үшін пайдалы модельдерді анықтау, нақты қосымшалар мен телекоммуникация желісін вектор ретінде қабылдайтын тиісті ақпарат пен коммуникациялары бар инновациялық жол бола алады.

- Денсаулық сақтау және көмек: пайдаланушы сезінетін қызмет көрсету деңгейін жоғарылату және сонымен бірге шығындарды азайту үшін онлайн режимінде қызмет алу мүмкіндігі.

- Электрондық білім беру: бұл сала мектепке білім беру технологияларын оқыту арқылы инновацияны енгізуге мүмкіндік береді.

- Қоғамдық кеңістіктер және әлеуметтік агрегация: бұл контекст, мысалы, мүгедектерге немесе қарттарға балама бағыттарды ұсыну арқылы осындай кедергілерді анықтай алатын қызметтер мен технологиялар жиынтығын қамтиды.

- Электрондық үкімет: мемлекеттік басқарудың ішкі процестерін цифрландыру арқылы, "бұлтты есептеулерді" дамыту және цифрлық форматта деректерді (ашық деректерді) пайдалану және алмасу, енгізу және шығару үшін жаңа, оның ішінде ашық бастапқы кодты құралдарды тарату арқылы мемлекеттік қызметтер көрсету саласы.

- Ақылды экономика: коммерциялық, экологиялық тұрақтылық этикасының жаңа «идеологиясын» дамыту арқылы болашаққа саналы түрде инвестиция жасау. [4].

Ақылды қаланы басқаруға қолданылатын жүйенің түрін анықтайтын нақты физикалық құрылымы жоқ. Қазіргі уақытта заттар интернеті арқылы алынған қоғамның әртүрлі секторларының деректері мен ақпараттық ағындары, бір-бірімен байланысты емес жүйелерде сақталып, қолданылады. Бұл қалалық басқару органдары мен қызметтерінің жұмысына қиындық тудырады, өйткені олар барлық күштер мен іс-шараларды толық және тиімді үйлестіре алмайды [4].

Ақылды қаланың қосымшалары қоғамға қаладағы жүйелермен тиімді қарым-қатынас жасауға көмектесе алатындығына қарамастан, ақылды қалалардың жаңа шешімдерін жасау кезінде әзірлеушілердің үлкен кедергісі деректерді өңдеудің және белгілі бір шешімдер қабылдаудың қиындықтарымен байланысты.

Қазақстандағы төртінші өнеркәсіптік революция қызметкерлердің білімі мен құзыреттеріне қойылатын талаптарды күшейтуге бағытталған. Өткен жылы Мемлекет басшысы 2025 жылға дейін негізгі салалар үшін 10 мың маманды оқыту жоспарын әзірлеуді тапсырды. 4.0 Индустриясы - бұл

физикалық нысандарды, процестерді және цифрлық технологияларды біріктіру арқылы қосымша құндылық қамтамасыз етілетін өндірісті ұйымдастыру тұжырымдамасы. Бұл ретте цифрлық технологиялар нақты уақыт режимінде физикалық процестерге мониторинг жүргізуге, дербес шешімдер қабылдауға, машиналардың өздері мен адамдар арасындағы өзара іс-қимылын бақылауға мүмкіндік береді [5].

Бұл тақырыптың өзектілігі бірнеше жыл бұрын пайда болды және Қазақстан қалалары үшін әлі де өзекті болып тұр. Басқа елдердің тәжірибелерін ала отырып, Қазақстан қалалары да Смарт қалаларға айналуға, бұл жерде қала мәселелері ақылды технологиялардың көмегімен шешіледі. Қазақстан аумағында жаңа технологияларға толы ақылды қала құрылды. Қала Ақкөл деп аталады, ол Нұрсұлтан қаласынан 100 шақырым жерде орналасқан. Қазір ол қала біртіндеп ақылды қалаға айналуға. Ол жерде барлық қалалық қызметтер белгілі бір жағдайда алынған мәліметтер негізінде көмекші шешімдер қабылдайды. Онлайн режимінде ауа-райының тәуелділігін, атмосфераның ластануын, үйлер мен пәтерлердегі температураның төмендеуін, ауруханалардағы науқастардың көбеюін, нақты аурулардың жиілігін, мектептегі жұмыс көрсеткіштері мен Ақкөл қазандықтарының сапасын қарау [29].

Smart Aqkol жобасы жол және қоғамдық қауіпсіздікті, соның ішінде білім беру мекемелері мен әлеуметтік нысандардағы бейнебақылау, денсаулық сақтау саласындағы мониторинг және басқару, сондай-ақ ғимараттар мен тұрғын үйлерді жаңа буындағы «ақылды жабдықпен» жабдықтау арқылы қаланың қалыпты тіршілігін кешенді қамтамасыз етуге бағытталған [29].

Бір мақсатқа жету үшін алға қойылған міндеттерді шешу қажет, яғни ақылды қаланың неғұрлым кең контекстінде динамикалық инфрақұрылымды модельдеуді пайдалануға мүмкіндік беретін мультиагентті жүйелерді талдау. Бұл типологияда мультиагентті жүйелерді қолдану саласы энергия ресурстарын оңтайландыру, шығарындыларды азайту және өмір сүру сапасын жақсарту болып табылады.

«АҚЫЛДЫ ҚАЛА» ТҰЖЫРЫМДАМАСЫ МЕН ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

Ақылды қалалар тұжырымдамасына қатысты үрейдің көпшілігі қалалар халықтың 50% -нан астамының үйіне айналғандығынан туындайды [6]. Сонымен қатар, қалалар халықтың көп бөлігі үшін үй бола отырып, қазіргі заманғы экономиканың орталығы болып табылады.

Smart Astana тұжырымдамасын қаланы қолдау үшін өмірлік маңызы бар негізгі қызметтер жиынтығы бар операциялық орталық ретінде ұсынуға болады, сурет 1. Бұл қызметтер келесідей жіктеледі: қауіпсіздік, басқару, экономика, көлік, қоршаған орта, өмір салты, қоғам [6].



Сурет 1. Smart Astana тұжырымдамасы

Ақылды қала мультиагентті жүйелерден тұрады, бұл сипаттама ақылды қаланың инфрақұрылымы мен қоршаған ортасын құратын жүйелерінде бар ақылды технологияларды қолдануына байланысты. Олар күнделікті қалалық өмірге арналған жаңа шешімдер неғұрлым мүмкін болатындай және оларды қолдану оңай болатындай етіп жұмыс жасайды [7].

Ақылды қала деректерді беру және тарату жұмыстарын тиімді пайдалану үшін жеткізушілер, тұтынушылар және желі арасындағы байланысты, автоматтандыруды және үйлестіруді арттырады. Жабдықтар мен құрылғыларды біріктіретін бүкіл жүйені үлкен көлемде өңдеу және тұтыну желілеріне жатқызу дұрысырақ, өйткені ол тұтастай анықталмайды, бірақ өзара байланысты ішкі жүйелерден тұрады. Ақылды қалалар сонымен қатар бірқатар ішкі желілердің теңгерімді интеграциясын жасауға бағытталған [8]. Дәстүрлі басқару мен байланыс жүйелері деректердің жоғары деңгейде болуын қамтамасыз ету үшін дамуды қажет етеді. Сұраныстарға тиімді жауап беру үшін жүйенің жұмыс жағдайларын білу қажет. Мысалы, ақылды есептегіштер мен екі жақты байланыс технологиялары тұтынушылар мен операторларға шешімдер қабылдау үшін ақпарат бере алады [9].

Ақылды қаланың болжанған желілік инфрақұрылымы өте серпінді және оның дискретті элементтерімен, яғни нақты уақытта генерациялайтын және тұтынатын құрылғылармен жасалған ақпаратқа қосылу мүмкіндігімен нақты уақытта бейімделу, оңтайландыру және болжау үшін жаңа мүмкіндіктер пайда болады [10]. Енгізілген жүйелердегі, есептеулердегі және желілердегі жетістіктер миллиондаған құрылғылардың инфрақұрылымына алып келді. Бұл құрылғылар ақпаратты беріп қана қоймай, есептер жүргізіп, желілер жасайды және озық коллаборацияларды қалыптастырады. Ақылды қалалық желінің сипаттамасын қамтамасыз ету үшін технологиялар мен басқарудың әртүрлі категориялары анықталды [11]:

- АКТ
- коммуникация инфрақұрылымы;
- «үлкен деректерді» талдау;
- технологиялық сервис;
- шешім қабылдауды қолдау модельдері;
- датчиктер мен атқарушы механизмдер;

- энергия тұтынуды төмендету жүйелері;
- энергияны өндіру және тарату жүйелері;
- тұрақты құрылысқа арналған жаңа материалдар мен шешімдер;
- жаңа гибриді және электрлік көлік құралдары;
- тұрақты ұйымдастырушылық модельдер;
- қалалық жоспарлау және шешім қабылдауды қолдау модельдері;
- әлеуметтік интеграция модельдері;

- қадағалау бақылауы және деректерді жинау - аппараттық бақылау хаттамаларын, сондай-ақ мемлекеттік ақпарат пен бақылау жүйелерімен алмасу үшін қажетті сигналдарды басқарады және көрсетеді. Қазір бұл технологиялар тек электр жүйесін басқару үшін қолданылады, бірақ көп агентті жүйелерден айырмашылығы көптеген операцияларды орындау үшін адамның араласуын қажет етуінде [11].

- жүйеге ықпал етуге арналған Таратылған интеллектуалды агенттер, қойылған тапсырманы орындауға ортақ мақсатты көздеп желінің жарамдылығын сапа стандарттарын қолдау болып табылады [12]. Тор, болуы қажет: интеллектуалды, мысалы, сұраныс жағын, баға сигналдары негізінде басқаруды жүзеге асыра алуы; үлестірілген: табиғи ресурстар қалай таратылады, тіпті желілік құрылыстарда интернет байланысады; автономды: электр қуаты өшіп қалған жағдайда автономды электр жүйесінде белсенді күйінде қалуы керек. Агенттер технологиясы жүйені икемді ете алады, мысалы, автономды жүйенің шекараларын динамикалық түрде қайта анықтауға мүмкіндік береді [13].

- «Заттар интернетінің» инфрақұрылымы қоршаған ортамен тығыз ықпалдастырылатын болады, сонымен қатар корпоративтік жүйелермен тығыз байланыста болады. Соңында бизнес пен нақты әлем арасындағы шекараны одан әрі бұлыңғыр етіп қана қоймай, сонымен қатар қызметтерді жобалау, орналастыру және пайдалану әдісін өзгертіп, нақты әлеммен тығыз жұмыс істей алатын жаңа бизнес мүмкіндіктері пайда болады [14].

АҚЫЛДЫ ҚАЛА ҮШІН МУЛЬТИАГЕНТТІК ЖҮЙЕ

Іс жүзінде барлық жаңа энергетикалық технологиялар - олардың жұмысын бақылайтын және АКТ «негіз» болып табылатын басқа құрылыстармен, ғимараттармен және жалпы желімен байланысуға мүмкіндік беретін кіріктірілген электрондық интеллектке ие [15].

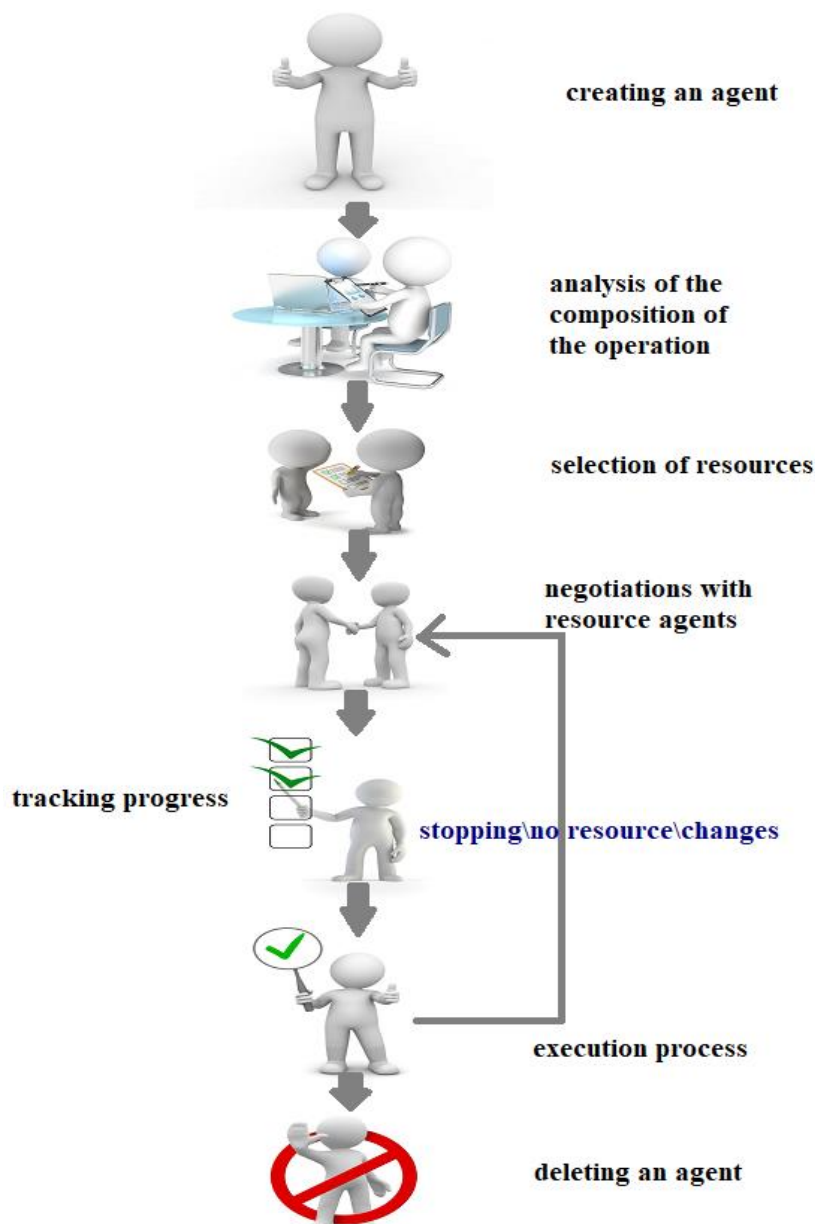
Агенттер жаһандық талдау, нақты уақыттағы басқару параметрі, автоматты нақты уақытта басқаруды қосу мен өшіру, иерархия бойынша, бірнеше уақыт шкаласы бойынша функционалдық үйлестіру арқылы үйлестірілген жергілікті басқару элементтерін ортақ пайдалануды жеңілдетеді. Виртуалды архитектура барлық деңгейлердегі интеллектуалды деректерді біркелкі біріктіруге мүмкіндік береді, осылайша нақты қызметтер мен деректердің орны виртуалдандырылып, бүкіл киберқауіпсіздік инфрақұрылымында ашық болады [4].

Интеллектуалды үлестірілген автономды ақылды қалаға – Ақылды қала инфрақұрылымын серпінді және интерактивті етуге қабілетті, қосыңыз – ойнаңыз – ашыңыз архитектурасын қолдана алатын, мысалы, әртүрлі желілер арасында ресурстарды өткізіп жіберуге мүмкіндік беретін, нақты және виртуалды операторлардың бір-бірімен байланысып, өзара әрекеттесуіне мүмкіндік беретін қауіпсіз орта құру үшін екі жақты байланысты пайдалану қажет болады [17].

ИОТ жүйесі жұмыс істеуі үшін интеллектуалды компоненттердің өзара әрекеттесуін қамтамасыз ету қажет. Агенттер арасындағы өзара әрекеттесудің негізгі түрлеріне мыналар жатады:

- кооперация (ынтымақтастық);
- бәсекелестік (конфронтация, қақтығыс);
- мәміле (басқа агенттердің мүдделерін ескеру);
- конформизм (басқалардың пайдасына қарай өз мүдделерінен);

· өзара әрекеттесуден ауытқу.



Сурет 2. Агент күйінің диаграммасы

Агенттер арасындағы өзара әрекеттесуді модельдеу процесінде виртуалды ортаны модельдеу кезінде ескерілуі керек табиғи жүйелердің келесі негізгі белгілері бөлінеді, сурет 2:

1. Кез келген агент шектілігі. Агенттің өмір сүру ұзақтығы әртүрлі жағдайларға, атап айтқанда, оған жүктелген міндетке, қолда бар ресурстардың көлеміне және т.б. байланысты.

2. Жасанды өмір модельдерінде биологиялық іріктеу механизмін қолдану. Тиімді агенттерді табиғи сұрыптау бейімделу жүйелерінде әртүрлі эволюциялық механизмдерді (үйретілген нейрондық желілер, генетикалық алгоритмдер, қайта құрылатын құрылымы бар машиналар және т. б.) қолдана отырып жүзеге асырылуы мүмкін.

3. Агенттер қауымдастығын ұйымдастыру деңгейін есепке алу. Модель күрделі организмдердің әлеуметтік ұйыммен әрекеттесуін сипаттайтын болса, агенттер реактивтілікке, белсенділікке және танымға қосымша тағы бір қасиетке - әлеуметтілікке ие болады. Мұндай модельдерде әлеуметтік мәртебе мен әлеуметтік қатынастарды ескеру қажет. Агенттердің

ұжымдық жұмысын модельдеу келесі мәселелерді шешумен байланысты:

- ынтымақтастық қажеттілігін тану;
- сәйкес серіктестерді таңдау;
- серіктестердің мүдделерін ескеру мүмкіндігі;
- бірлескен іс-қимылдар туралы келіссөздерді ұйымдастыру;
- бірлескен іс-қимыл жоспарларын қалыптастыру;
- бірлескен әрекеттерді синхрондау;
- міндеттердің бөлінуі;
- қайшылықты мақсаттарды анықтау;
- бірлескен ресурстар үшін бәсекелестік;
- ұжымда тәртіп ережелерін қалыптастыру;
- ұжымдағы мінез-құлықты үйрету және т.б.

Жоғарыда аталған мәселелерді шешу зияткерлік өндірістік ортаны қалыптастыруға мүмкіндік береді, бұл өндірістік қызмет процесінде кәсіпорын ресурстарын жоспарлау және бөлу мәселелерін шешуге мүмкіндік береді. CAD\CAM\CAE\PLM жүйелерінде әзірленген электрондық түрдегі конструкторлық және технологиялық деректерді нақты өндіріспен біріктіру.

Әр агент үш деңгейге бөлінеді:

- Қай агенттің ойлау қабілеті, мақсаттары, ресурстары, дағдылары, сенімдері, қалаулары бар екенін анықтау.
- Өзінің агент-әріптесімен қарым-қатынасты нақтылайтын ұйымдастырушылық.
- Агентті басқа агенттермен келіссөздер жүргізіп, үйлестіре алатындай етіп үйлестіру, модельдеу [18].

Агенттер желілік адресстермен агент атауларын сәйкестендіретін және белгілі бір сыйымдылыққа, утилиталарға қабілетті ықтимал агенттердің атауларын қамтамасыз ететін сервер функцияларын қамтамасыз етеді [18].

Агенттік жүйені іске асыру келесідей:

- Агенттердің сипаттамасы
- Бірлескен агент диаграммасы арқылы қол жеткізілетін қосымшаны талдау. Басқару агенті күтпеген жағдайларды немесе электр желісіндегі сәтсіздіктерді анықтау үшін мониторинг жүйесін және жоғары тұрған электр желісін анықтаған кезде ақылды қаланың ақпараттық технологияларын утилитадан оқшаулау үшін негізгі ажыратқышқа сигналдар жіберуді қамтиды [18].

Пайдаланушы агенті ақылды қала функцияларын пайдаланушыларға қол жетімді ететін клиенттік шлюз ретінде әрекет етеді. Ол ақылды қала жүйесінде тұратын адамдар туралы нақты уақыт режимінде пайдаланушыларға ақпарат беру жауапкершілігін қамтиды. Пайдаланушы агенті сонымен қатар пайдаланушыларға алдын-ала анықталған басымдық негізінде жүктеме күйін басқаруға мүмкіндік береді:

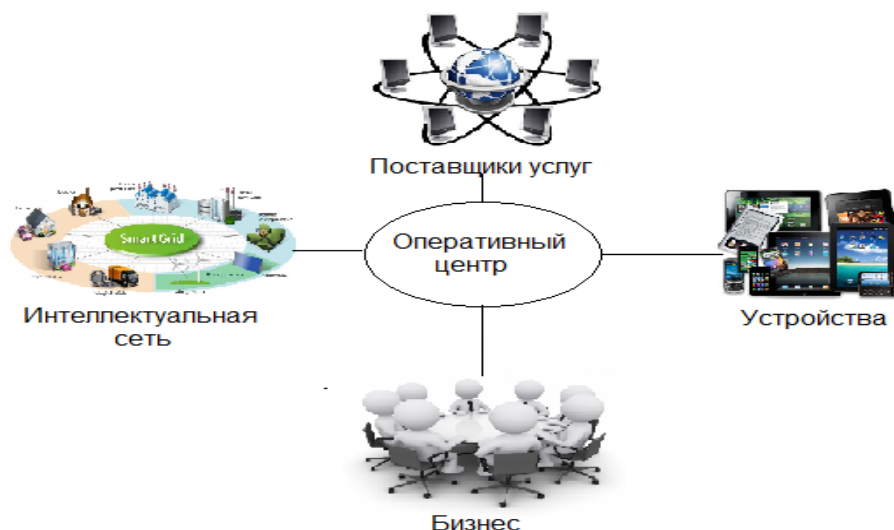
- Әр агенттің білімін модельдеу арқылы қосымшаларды әзірлеу.
- Агенттердің бағдарламаны фреймворктердің графикалық интерфейсі арқылы іске асыру, құру. [18].

Соңында, агент кодтары жасалғаннан кейін, өтініш беру процесі аяқталды. Агенттер арасындағы барлық хабар алмасу беруді басқару протоколы/Интернет протоколы немесе TCP/IP үшін орнатылады. Кез келген мультиагенттік жүйенің идеясы бір нысан (орталықтандырылған жүйе) шешетін күрделі тапсырманы бірнеше объектілер (үлестірілген жүйе) шешетін кішірек, қарапайым тапсырмаларға бөлу болып табылады. [18].

Мультиагенттік жүйе күрделі жүйелерді, агент қасиеттерінің артықшылығын пайдаланатын жүйелерді: автономдылық, әлеуметтілік, реактивтілік және проактивтілікті дамытуда анағұрлым күшті құралға айналуға. Ол адамның араласуынсыз әрекет ететін мағынада автономды және

әлеуметтік тұрғыдан басқа агенттермен қарым-қатынас тілі арқылы өзара әрекеттеседі. Агенттер де қоршаған ортаны қабылдап, жауап береді. Сайып келгенде, агенттер белсенді, өйткені олар бастама көтеру арқылы мақсатты мінез-құлық таныта алады. Ұсынылған «Ақылды қала» архитектурасы АКТ инфрақұрылымының әртүрлі құрамдас бөліктерін жобалау мен дамытуға және смарт қалаға қажетті стандарттар мен хаттамалардың пайда болуына ықпал ететін жалпы негізді қамтамасыз етеді. Архитектураның техникалық жүзеге асырылуы датчиктер, телекоммуникациялар, есептеу техникасы, интернет-технологиялар, энергетикалық жабдықтар және энергия жүйелерін талдау саласындағы соңғы жетістіктерге сүйенеді [18].

Ақылды қаланың ақылды жүйесі-бұл әртүрлі технологияларды, операторлар мен қосылымдарды ескеретін жүйе. Бұл жүйелердің құрамы жаңа кәсіпорындар мен жаңа өзара әрекеттесулерді тудыратын технологиялардың дамуына байланысты өзгереді. Бұл сапаны сақтау үшін ақылды қала жүйелері бір-бірімен үлкен қарым-қатынаста болмауы керек, олар өзара ақпараттың минималды көлемін пайдалана отырып, өзара әрекеттесуі керек. Ақылды қаланың тұжырымдамалық моделі-бұл көріністер мен сипаттамалардың жиынтығы (сурет 3) ақылды қаланың сипаттамаларын, қолданылуын, мінез-құлқын, интерфейстерін, талаптары мен стандарттарын талқылауға негіз болып табылады [19].



Сурет 3. «Ақылды қала» пәндік аймағының диаграммасы

Ақылды бағдарламалық жасақтама агенттерін жасыл көзден қуат іздеуге бағдарламалауға болады. Әрбір генерация көзін ұсынатын агенттер атмосфераға ағымдағы шығарындылар туралы есеп бере алады. Қоршаған ортаға әсерін азайтуға мүдделі электр энергиясын тұтынушылар өз агенттеріне өз бюджеттері аясында қол жетімді ең таза электр энергиясын сатып алуды бұйыруы мүмкін. Ақылды желілер ескертулер кезінде бірлесіп әрекет етеді [4].

МУЛЬТИАГЕНТТІ ЖҮЙЕЛЕРДІ ҚОЛДАНУДЫ ТАЛДАУ

Ақылды қалалардағы мультиагенттік жүйелер, келесі авторлардың жұмыстарын зерттейміз.

Кесте 1. Ақылды қалада мультиагентті жүйелерді пайдалану

Зерттеушілер	Қолданылатын әдістер
Longo M. және б. [4]	Ақылды қалада қолданылатын инновациялық мультиагентті жүйелер
Roscia M. және б. [7]	Мультиагентті жүйелер арқылы Ақылды қала
Merabet G. H. және б. [21]	Интеллектуалды желілерде мультиагентті жүйелерді қолдану
Olszewski R. және б. [22]	Мультиагентті жүйелерді қолдана отырып, Ақылды қала тұрғындарының қызметін кеңістіктік және уақытша модельдеу
Diogo A. және б. [23]	Мультиагентті жүйелер моделі дәл, сенімді және жиі деректерді қолдайтын оңтайландырылған метрикалық агенттер үшін ойын ортасын ұсынудың орындылығын дәлелдеу үшін қолданылады.
Silva D. және б. [24]	Ақылды қаланың мультиагентті жүйелері үшін стандартты оның іске асырылуы мен жұмыс істеуін тексеру үшін пайдалану.
Postránecký M. және б. [25]	Smart City кешенді мультиагентті жүйесінің тұжырымдамалық моделі 4.0.
Julian V. және б. [26]	Мультиагентті жүйелер
Giordano A. және б. [27]	Ақылды агенттер және Ақылды қала қосымшаларына раналған тұманды есептеулер.
Přibyl O. және б. [27]	Ақылды қалаларға жүйелі бағытталған тәсіл

Мақалаларды талдағаннан кейін барлық Ақылды қалаларда көп агентті жүйелер қолданылады деп қорытынды жасауға болады. Бұл жүйелер Ақылды қаланың жұмысына көмектеседі. Олар белгілі бір жүйелердің жұмысын жақсарту үшін белгілі бір шешімдер қабылдайтын өзін-өзі үйрететін және ақылды технологиялар. Дұрыс бағдарламаланған мультиагенттік жүйе Ақылды қаланың дамуына ықпал етеді, қала тұрғындары үшін олардың қажеттіліктері мен қолда бар технологияларын ескере отырып, қолайлы жағдай жасайды.

Ақылды қалалардағы мультиагенттік жүйелерге қатысты қолданыстағы шолу жұмыстары 1-ші кестеде жинақталған, осы шолу жұмыстарының көпшілігі [4], [7], [21]–[27] ақылды қаланың белгілі бір доменіне немесе жіктеу перспективасының бір жанрына бағытталған. Postránecký M. және т.б. [26] жұмысында Үшбұрыш ережелерінің диаграммасын енгізеді. Ақылды қалалардағы мультиагентті жүйелер бойынша жұмыстар кезекпен зерттелді Қызығушылық танытқан оқырмандар қосымша техникалық ақпарат алу үшін осы сілтемелерді қолдана алады.

Қорытынды

Мақалада Ақылды қалаларда мультиагентті жүйелерді қолдану, ішкі жүйелерді, өндірістік технологияларды, операциялық жүйелерді сипаттайтын модель, ақылды қаланың осы жобасын нақты жасайтын мультиагентті жүйелерді қолдануға нақты шолу жасалып, әзірлеушілерге ыңғайлы амалға талдау жасалды. Бірнеше оңтайлы сәттер Ақылды қаланы тудыруы мүмкін. Мысалы, экономикалық ынталандыру, қызмет көрсету саласындағы инновациялар, азаматтарды тарту, көмірқышқыл газының шығындыларын азайту, қоғамдық қауіпсіздікті арттыру; денсаулықты қорғау. Ақылды қала тұжырымдамасы қалалық жүйені қайта анықтауда негіз болып табылады, онда қалалық құрылымды құру үшін адами және әлеуметтік аспектілер де ескеріледі. Осы немесе басқа да модельді жүзеге асыруға мүмкіндік беру үшін Ақылды қаланы құрайтын және іске асыратын элементтердің негізгі сәтіне нақты және объективті анықтама беру өте маңызды. Бірінші ұлы электрлік революцияны жасаушысы инновациялық құрылыстардың маңызды, бірақ

ең бастысы - оларды пайдалы ететін жүйелерді жасау екенін білді. Шешім қабылдау процесін барлық дерлік жүйелерге тарату арқылы ол экономиканың пайда болатын қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін таза, қауіпсіз, сенімді және үнемді энергияны беретін ақылды желіні құрады. Ақылды қаланың мүмкіндіктері неғұрлым жан-жақты қарастырылып, дамыған сайын, біз оның көптеген мүмкіндіктері мен артықшылықтарын тезірек және толық жүзеге асырамыз. Ақкөзде қаланың барлық ішкі жүйелерінің деректерді Ақылды қаланы басқаратын бірыңғай қорғалған платформаға жібереді.

Ақылды қалаларға арналған жұмыстарға жасалған талдау ақылды қала мультиагенттік жүйелерді пайдаланбай айтарлықтай дами алмайтындығын көрсетті.

Әдебиеттер тізімі

1. Karnouskos, S. and T.N. De Holanda. [Simulation of a smart grid city with software agents]. 2009-pp: 424-429.
2. Moslehi, K. Reliability perspective of the smart grid. IEEE T. Smart Grid, 1(1)-2010-pp: 57-64.
3. Schoenherr T. Environmental sustainability initiatives: A comparative analysis of plant efficiencies in Europe and the U.S. IEEE T. Eng. Manage., 60(2)-2013-pp: 353-365.
4. Longo M., Roscia M. & Lazaroiu, G.C., Innovating Multi-agent Systems Applied to Smart City. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 7(20) – 2014-pp: 4296-4302
6. Концепция проекта Smart-Astana: <http://ain.kz/wp-content/uploads/2018/01/Smart-Astana.pdf> (дата обращения 25.04.2022г.)
7. Roscia M., Longo M. & Lazaroiu, G.C. Smart City by multi-agent systems. International Conference on Renewable Energy Research and Applications-2017-pp:117-120
8. Yang, D.L., F. Liu and Y.D. Liang. A survey of the internet of things. Proceeding of the International Conference on E-Business Intelligence (ICEBI, 2010). Advances in Intelligent Systems Research, Atlantis Press, Kunming, Yunnan, China, 2010-pp: 358-366.
9. Albouy, D., F. Leibovici and C. Warman. Quality of life, firm productivity and the value of amenities across Canadian cities. Can. J. Econ., 46(2)-2012-pp: 379-411.
10. Clayton, S., C. Litchfield and E.S. Geller. Psychological science, conservation and environmental sustainability. Front. Ecol. Environ., 11-2013-pp: 377-382.
11. Dijkstra, L., E. Garcilazo and P. McCann. The economic performance of European cities and city regions: Myths and realities. Eur. Plan. Stud., 21(3)-2013-pp: 334-354.
12. Lazaroiu, G.C. and M. Roscia. Definition methodology for the smart cities model. Energy, 47(1)-2012-pp: 326-332.
13. Lazaroiu, G.C., D. Zaninelli, M.O. Popescu and M.C. Roscia. Grid connected and stand alone DC power system prototype. Proceedings of the International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP, 2012), pp: 529-534.
14. Roscia, M., D. Zaninelli and G.H. Lazaroiu. Fuzzy logic applied for sustainable urban models. J. Environ. Protect. Ecol., 12(4A)-2011-pp: 2225-2235.
15. Viitanen, J. and R. Kingston. Smart cities and green growth: outsourcing democratic and environmental resilience to the global technology sector. Environ. Plann. A, Vol. 45,2013
17. Moslehi K. and Kumar R., IEEE Trans. Smart Grid, vol. 1, pp. 57-64, June 2010.
18. Bacco M. Di, Agents systems for smart grids (in italian: Sistemi ad Agenti per Smart Grid), May 2010 [online]. the-smart-grid-a-northwest-initiative-for-job-creation-energy-security-and-clean-affordable-electricity/SmartEnergyNetwork.pdf (дата обращения 25.04.2022г.)
19. Nwana H.S., Ndumu D.T. and Lee L.C., “ZEUS: an advanced tool-kit for engineering distributed multi-agent systems,” in Proc. Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems 1998-pp. 377-391
20. Pipattanasomporn M., Feroze H. and Rahman S., “Multi-agent Systems in a Distributed Smart

Grid: Design and Implementation," in Proc. PSCE 2009 IEEE Power Systems 2009-pp. 1-8

21. Merabet G.H., Essaaidi M., Talei H., Abid M.R, Khalil N., Madkour M., Benhaddou D. Applications of Multi-Agent Systems in Smart Grids: A Survey. 2014-978-1-4799-3824-7/14/\$31.00 ©2014 IEEE. pp. 112-118

22. Olszewski R., Pałka P., Turek A., Kietlin' ska B., Płatkowski T. and Borkowski M. -2019. Spatiotemporal Modeling of the Smart City Residents' Activity with Multi-Agent Systems. www.mdpi.com/journal/applsci. Appl. Sci. 2019, 9, 2059;

23. Diogo A., Fernandes B., Silva A., Faria J.C., Neves J., Analide C. -2018. A Multi-Agent System Blockchain for a Smart City. CYBER 2018: The Third International Conference on Cyber-Technologies and Cyber-Systems. Copyright (c) IARIA, 2018. pp. 256-278

24. Silva D., Ferraz F., Ferraz C. Smart City Applications TestBed. SOFTENG 2015: The First International Conference on Advances and Trends in Software Engineering. Copyright (c) IARIA, 2015. pp. 1145-1158

25. Postránecký M., Svítek M. Conceptual Model of Complex Multi-agent System Smart City 4.0. International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems-2017-pp: 203-215

26. Julian V., Botti V., Multi-Agent Systems. -2019- (дата обращения 25.04.2022г.)

27. Giordano A., Spezzano G., Vinci A. Smart Agents and Fog Computing for Smart City Applications. International Conference on Smart Cities. Smart-CT 2016: Smart Cities pp 137-146 | Cite as.

Ж.Б. Ахаева^{1,2}, А.Б.Закирова², Г.Б.Толегенова^{1,2}

¹Международный университет Астана, Нур-Султан, Казахстан

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Анализ мультиагентных систем в «умных городах»

Аннотация. Города сталкиваются с новым вызовом, связанным с ростом их населения; впервые в истории большая часть населения теперь живет в мегаполисе. Исходя из сложившейся ситуации город должен внедрять новые решения, стать «умным городом», представляя своим гражданам системы, отвечающие требованиям, которые связаны с безопасностью, здравоохранением, ресурсами, правительством, образованием и другими городскими повседневными системами. Цель данной статьи - исследовать модель «умного города» с использованием мультиагентных систем, обеспечивающих интеллект города, как базовую инфраструктуру для определения модели воспроизводимой и экспортируемой в реализации «умного города». В данной статье проводится анализ умных зарубежных городов с применением мультиагентных систем, а также работа самих мультиагентов.

Ключевые слова: Умный город, мультиагентные системы, большие данные, технология «Интернет вещей», ИКТ.

Zh.B. Akhayeveva^{1,2}, A.B.Zakirova², G.B.Tolegenova^{1,2}

¹Astana International University, Nur-Sultan, Kazakhstan

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Analysis of Multi-agent systems in Smart Cities

Abstract. Cities face a new challenge related to the growing number of their population. For the first time in history, most populations now live in a megacity. Based on the current situation, the city

should implement innovative solutions and become the Smart City, supplying its citizens with systems that ensure security, health, resources, government, education, and other urban everyday systems. The purpose of this article is to investigate the Smart City model using multi-agent systems that provide city intelligence as the essential infrastructure for determining the model that can be reproduced and exported to create the Smart City. This article analyzes smart foreign cities using multi-agent systems, as well as the work of the multi-agents themselves.

Keywords: Smart City, multi-agent systems, Big Data, Internet of things, ICT.

References

1. Karnouskos, S. and T.N. De Holanda. [Simulation of a smart grid city with software agents]. 2009-pp: 424-429.
2. Moslehi, K. Reliability perspective of the smart grid. IEEE T. Smart Grid, 1(1)-2010-pp: 57-64.
3. Schoenherr T. Environmental sustainability initiatives: A comparative analysis of plant efficiencies in Europe and the U.S. IEEE T. Eng. Manage., 60(2)-2013-pp: 353-365.
4. Longo M., Roscia M. & Lazaroiu, G.C., Innovating Multi-agent Systems Applied to Smart City. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 7(20) – 2014-pp: 4296-4302
6. Konceptiya proekta Smart-Astana: <http://ain.kz/wp-content/uploads/2018/01/Smart-Astana.pdf> (Accessed: 25.04.2022r.)
7. Roscia M., Longo M. & Lazaroiu, G.C. Smart City by multi-agent systems. International Conference on Renewable Energy Research and Applications-2017-pp:117-120
8. Yang, D.L., F. Liu and Y.D. Liang. A survey of the internet of things. Proceeding of the International Conference on E-Business Intelligence (ICEBI, 2010). Advances in Intelligent Systems Research, Atlantis Press, Kunming, Yunnan, China, 2010-pp: 358-366.
9. Albouy, D., F. Leibovici and C. Warman. Quality of life, firm productivity and the value of amenities across Canadian cities. Can. J. Econ., 46(2)-2012-pp: 379-411.
10. Clayton, S., C. Litchfield and E.S. Geller. Psychological science, conservation and environmental sustainability. Front. Ecol. Environ., 11-2013-pp: 377-382.
11. Dijkstra, L., E. Garcilazo and P. McCann. The economic performance of European cities and city regions: Myths and realities. Eur. Plan. Stud., 21(3)-2013-pp: 334-354.
12. Lazaroiu, G.C. and M. Roscia. Definition methodology for the smart cities model. Energy, 47(1)-2012-pp: 326-332.
13. Lazaroiu, G.C., D. Zaninelli, M.O. Popescu and M.C. Roscia. Grid connected and stand alone DC power system prototype. Proceedings of the International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP, 2012), pp: 529-534.
14. Roscia, M., D. Zaninelli and G.H. Lazaroiu. Fuzzy logic applied for sustainable urban models. J. Environ. Protect. Ecol., 12(4A)-2011-pp: 2225-2235.
15. Viitanen, J. and R. Kingston. Smart cities and green growth: outsourcing democratic and environmental resilience to the global technology sector. Environ. Plann. A, Vol. 45,2013
17. Moslehi K. and Kumar R., IEEE Trans. Smart Grid, vol. 1, pp. 57-64, June 2010.
18. Bacco M. Di, Agents systems for smart grids (in italian: Sistemi ad Agenti per Smart Grid), May 2010 [online]. the-smart-grid-a-northwest-initiative-for-job-creation-energy-security-and-clean-affordable-electricity/SmartEnergyNetwork.pdf (Accessed: 25.04.2022r.)
19. Nwana H.S., Ndumu D.T. and Lee L.C., «ZEUS: an advanced tool-kit for engineering distributed multi-agent systems» in Proc. Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems 1998-pp. 377-391
20. Pipattanasomporn M., Feroze H. and Rahman S., “Multi-agent Systems in a Distributed Smart Grid: Design and Implementation,” in Proc. PSCE 2009 IEEE Power Systems 2009-pp. 1-8
21. Merabet G.H., Essaaidi M., Talei H., Abid M.R., Khalil N., Madkour M., Benhaddou D.

Applications of Multi-Agent Systems in Smart Grids: A Survey. 2014-978-1-4799-3824-7/14/\$31.00 ©2014 IEEE. pp. 112-118

22. Olszewski R., Palka P., Turek A., Kietlin' ska B., Płatkowski T. and Borkowski M. -2019. Spatiotemporal Modeling of the Smart City Residents' Activity with Multi-Agent Systems. www.mdpi.com/journal/applsci. Appl. Sci. 2019, 9, 2059;

23. Diogo A., Fernandes B., Silva A., Faria J.C., Neves J., Analide C. -2018. A Multi-Agent System Blockchain for a Smart City. CYBER 2018: The Third International Conference on Cyber-Technologies and Cyber-Systems. Copyright (c) IARIA, 2018. pp. 256-278

24. Silva D., Ferraz F., Ferraz C. Smart City Applications TestBed. SOFTENG 2015: The First International Conference on Advances and Trends in Software Engineering. Copyright (c) IARIA, 2015. pp. 1145-1158

25. Postránecký M., Svítek M. Conceptual Model of Complex Multi-agent System Smart City 4.0. International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems-2017-pp: 203-215

26. Julian V., Botti V., Multi-Agent Systems. -2019- (data obrashcheniya 25.04.2022г.)

27. Giordano A., Spezzano G., Vinci A. Smart Agents and Fog Computing for Smart City Applications. International Conference on Smart Cities. Smart-CT 2016: Smart Cities pp 137-146 | Cite as.

Авторлар туралы мәлімет:

Ахаева Ж. Б. - Астана Халықаралық университетінің 2 курс докторанты, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Закирова А.Б. - педагогика ғылымдарының кандидаты, Информатика кафедрасының доценті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Толегенова Г.Б. - Астана Халықаралық университетінің 2 курс докторанты, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Akhayeva Zh.B . - The 2nd year Ph.D. student, Astana International University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Zakirova A.B. - Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Informatics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Tolegenova G.B. - The 2nd year Ph.D. student, Astana International University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

K.A. Baigenzhinov¹, B.U. Baikhozhaeva², A.G. Zhusipov¹,
Zh.M. Kambarova¹, Zh.A. Yessimova¹

¹Astana Branch of Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP, Nur-Sultan, Kazakhstan

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

E-mail: baigenzhinov@inbox.ru, bajxozhaeva63@mail.ru, alzhussipov@gmail.com,
zhaina_kambarova@mail.ru, z.yessimova@rpf.kz

Qualitative indicators affecting the oxidation of rapeseed and linseed oils

Abstract. The production of high-quality and safe vegetable oils is an important economic task.

This article analyzes the applied aspects of improving the quality and safety of rapeseed and linseed oils. The factors affecting the quality and safety of rapeseed and linseed oils are analyzed. Studies of consumer preferences for rapeseed and linseed oils in the city of Nur-Sultan have been conducted. The results of the analysis showed that the consumer prefers the quality and safety of vegetable oils.

Since the composition and technological properties of oilseed raw materials are influenced by many factors, to regulate the production process and improve the quality and safety of vegetable oils, it is necessary to have information to what extent the quality of oilseed raw materials affects the characteristics of the finished product developed on its basis.

By applying an individual approach to the selection of parameters of oilseed raw materials, it is possible to ensure traceability of results and processes for each production cycle of vegetable oils, as well as to effectively implement a production control program by the requirements of regulatory documentation and TR CU 024/2011.

The article takes steps to improve the current regulatory and technical documentation for vegetable oils. It is proposed to use an approach based on the traceability system of vegetable oils. From these positions, some key features, and aspects of measuring qualitative indicators affecting the oxidation of rapeseed and linseed oils are considered, and the creation of a national standard «Traceability in the production chain of vegetable oils» is justified. The methodology and methods of research are determined by a systematic approach that allows us to study and identify the relationship between the processes of processing, storage, transportation, and sale of vegetable oils.

Keywords: Rapeseed oil, linseed oil, quality, safety, traceability, consumer.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-139-2-20-39

Introduction

One of the leading places in the food complex of Kazakhstan is occupied by the fat-and-oil industry, which is connected both with the diversity and uniqueness of fat-and-oil raw materials, and with the important role of fats in human nutrition. The global volume of production and consumption of the main types of vegetable oils (palm, soybean, rapeseed and sunflower) is growing annually.

The leaders in the global food consumption market are four types of vegetable oil – palm, soybean, rapeseed and sunflower – and the shares of the latter two in the structure of world consumption have been stable over the past years. Currently, rapeseed and linseed oils remain quite popular and in demand in the world.

The natural conditions of Kazakhstan allow us to grow various types of oilseeds in demand on the market – rapeseed, soy, sunflower, curly flax and others. The key oilseeds grown and, accordingly, exported from the Republic of Kazakhstan are flax, rapeseed and sunflower seeds.

The unique properties of vegetable oils allow them to be widely used in the food industry. Their valuable properties are due to the content of unsaturated fatty acids, phospholipids, fat-soluble vitamins (A, E) in them. In terms of the content of polyunsaturated fatty acids, rapeseed and linseed oils are not

inferior to olive oil and even surpass it. They are classified as the best edible vegetable fats by the composition of fatty acids. [1-5]

Rapeseed oil, due to its ability to withstand high temperatures when heated, is very popular in the restaurant business, as it significantly speeds up the cooking time.

In terms of taste, rapeseed oil is equated with olive oil (in many respects the composition of these products is quite similar), is in demand and is considered one of the best vegetable oils. Rapeseed oil retains transparency for a long time, does not acquire an unpleasant odor under the influence of air.

Currently, rapeseed oil with a reduced content of erucic acid is very widely used in the production of baby food products — in the production of milk-based dry baby cereals, dry infant formula for feeding young children, and is also added to the composition of sterilized vegetable mixtures. Rapeseed oil contains the most alpha-linoleic acid, it is very useful for the human body, and is absolutely indispensable for the development of the body of a small child. Rapeseed oil improves metabolism and is absorbed by itself much easier than other vegetable oils. The oleic acid contained in rapeseed oil in excess allows diabetics and dieters to consume it. This acid participates in metabolism, and also stimulates regenerative processes in skin cells, moisturizes and nourishes it.

Rapeseed oil is considered especially useful for women, because the substances that make up it are necessary for the formation of female sex hormones. Thus, regular use of this product helps to reduce the risk of infertility, as well as diseases of the female genital area, including cancer. Rapeseed oil is also useful for pregnant women: the substances contained in it contribute to the normal development of the fetus [6-14].

Linseed oil occupies a leading position among vegetable oils. Studies of the effects of flaxseed on the body have already proven that it reduces the development of breast, prostate and colon cancers, as well as prevents lung diseases. And scientists have also determined that the use of flax seeds can reduce the risk of cardiovascular diseases, stroke and diabetes. What is the secret of the healing properties of flax? Linseed oil contains a large amount of vitamins and other biologically active compounds necessary for our health: alpha-linolenic acid - 60% (Omega-3); linoleic acid – 20% (Omega – 6); oleic acid – 10% (Omega-9); other saturated fatty acids - 10%.

Linseed oil prevents inflammatory reactions that lead to the formation of plaques on the walls of arteries and circulatory disorders.

Recently, there has been an increase in flax processing due to the emergence of a new demand for it as a functional nutrition product, an increase in industrial consumption and an increase in production [15-20].

The quality and safety of any food product are formed not only in the production process. An important role is played by the quality and safety of raw materials. Immaturity of seeds, their high defectiveness, etc. they are the reasons for obtaining highly acidic oils. There are known data on pathological changes in the body when using oxidized and thermally oxidized fats [3-10].

In recent years, seeds with a high peroxide number have been increasingly processed. The higher the peroxide number in the seed oil, the higher the content of oxidation products in the finished product. The oxidation of the oil destroys essential fatty acids and leads to the formation of toxic and oxidized products [27-30].

It is known that the process of oxidation of vegetable oils is influenced by many conditions, including humidity, enzymatic, photo- and thermal processes, the presence of metals of variable valence, etc. Vegetable oils are subject to penalties, and therefore it is necessary to strictly observe storage regimes, especially in relation to sunlight and oxygen, which are catalysts for oxidative processes. Regimes and warranty periods for the storage of vegetable oils are often violated. And the warranty periods of storage are set depending on the fatty acid composition of triglycerides of oils

Unfavorable storage conditions of vegetable oils, especially in the presence of moisture, lead to an increase in the content of free fatty acids. This reduces the quality of the oil, worsens its nutritional value. [21-25]

Therefore, an important aspect of the consumption of vegetable oils is not only their nutritional and biological value but also safety and quality, which depend on several factors related to the technological processes of processing oilseeds, oil production, storage, transportation, and subsequent heat treatment.

The relevance of research on the safety of rapeseed and linseed oils is due to the need for a systematic approach to the implementation of the new Law of the Republic of Kazakhstan "On Technical Regulation" in the field of assessment and safety of consumer goods.

One of the most important requirements of legislation in the field of consumer protection is to provide the consumer with objective, reliable and understandable information about the product. This requirement in the Republic of Kazakhstan is implemented by the provisions of the Law «On Consumer Rights Protection» and applies to any products submitted by manufacturers to the domestic market of the country.

Legislative requirements for food products by the Law of the Republic of Kazakhstan «On Technical Regulation» include not only requirements for product safety, but also requirements for the prevention of actions misleading purchasers. The first and main stage of the implementation of this requirement is to provide the consumer with complete information about the product. As a rule, such information is provided to the consumer in the form of labeling, the main purpose of which is to identify the product in order to enable consumers to choose the necessary or desired product.

The issues of identification of products in circulation on the market, including vegetable oils, are extremely relevant. It is known that without identification it is impossible to present specific requirements to products, including those provided for by technical regulations and standards. If an object is identified incorrectly, it is difficult to talk about its quality and safety.

Currently, it is quite difficult to prove the conformity of products with their name indicated on the label. In this regard, in order to effectively regulate the circulation of vegetable oils, it is advisable to develop a system for its identification.

The solution to this problem should be comprehensive and focus on the following elements: regulatory, methodological, laboratory and informational.

First. It is necessary to consider the existing regulatory framework in terms of terminology and the development of methods that can be used in the identification of vegetable oils. In many cases, national (interstate) standards for these methods require updating both for a clearer description of aspects related to the identification of vegetable oils, and for the revision of technical or metrological provisions. The use of standardized methods will avoid the problem of reproducibility of results for summing up identification tests.

Second. It is necessary to develop standards for modern express identification methods. Currently used chromatographic, spectral (optical), electrochemical, radiometric and mass spectrometric methods require the use of the latest test equipment and measuring instruments.

The third. It is necessary to improve the regulatory framework regulating the requirements for the quality and safety of rapeseed and linseed oils, based on the principle of traceability applied to the entire life cycle chain.

Fourth. It is urgent to develop a methodological tool for designing information for the consumer, based on process and system approaches, which will increase consumer guarantees regarding the purchase of high-quality and safe products that meet legislative requirements and consumer requirements. The lack of a clear methodology for designing information for the consumer, despite the apparent certainty of labeling requirements, leads to the fact that at present regulatory authorities identify in retail chains a significant number of oilseed processing products with violations in label labels, which, among other things, can lead to undesirable consequences for consumer health.

Research methodology

The work was carried out in the Laboratory of processing of oilseed raw materials of the Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry.

The research was carried out in three directions. At the first stage, a marketing assessment of the market, consumer preferences and consumption structure of rapeseed and linseed oils in Nur-Sultan was carried out.

A marketing assessment of the consumer market of vegetable oils of the city of Nur-Sultan was carried out in the autumn of 2021 by a survey of the population. Everyone who bought oil in the store was interviewed in a row. At the first stage, a target portrait of the consumer was created. According to the results of statistical processing, it turned out that 82% of respondents were women and 18% were men. More than half of the respondents (59.3%) are respondents 46 years and older, 28.5% are 26-45 years old and 12.2% are 18-25 years old. Respondents were asked to fill out a questionnaire, the purpose of which was to identify the preferences and intentions of consumers, as well as to evaluate the types of rapeseed and linseed oils currently on the market. 1,275 people took part in the survey.

The second stage was associated with the development of a methodology for designing consumer information for vegetable oils based on the systematization of identification features of products and documents united by a common purpose and establishing requirements for labeling consumer packaging.

An expert assessment questionnaire was developed to determine the level of consequences for the consumer in case of a violation in the labeling of consumer containers for vegetable oil. The experimental data obtained were processed by methods of mathematical statistics. Work has been carried out to study the identification features of vegetable oils and their influence on the labeling features of consumer packaging.

Identification of vegetable oils was carried out by visual verification of the presence of identification marks using the markings applied to it and (or) accompanying documentation. 245 samples of labeling of consumer containers of vegetable oils were taken for analysis.

Normative documents according to which rapeseed and linseed oils were identified and their quality was assessed, rapeseed [6-10]: GOST 8988-2002, GOST 31759-2012, ST RK 1429-2005; linseed - GOST 5791-81, ST RK 2645-2015.

The characteristics of vegetable oil products were grouped according to the principle of uniformity:

- a group of features reflecting the raw origin of the product and the composition of vegetable oils;
- a group of features reflecting technological processes that are decisive for various groups of vegetable oils;
- a group that combines organoleptic characteristics that determine the consumer properties of the product;
- a group of physico-chemical indicators, including a list of quantifiable indicators of the product;
- a group of microbiological indicators, including a list of quantifiable and qualitative indicators of the product;
- a group of features that characterize the special properties of the product.

Considering legislative and regulatory requirements, only those identification signs were used that would not mislead the consumer about the composition of the product, nutritional value, nature of origin and other information indirectly characterizing its quality and safety. To select and describe the properties of products, a list of labeled and unmarked identification features has been developed.

At the third stage, the analysis of legislative documents, regulatory legal acts, regulatory and technical base for rapeseed and linseed oil was carried out and recommendations for its improvement were proposed.

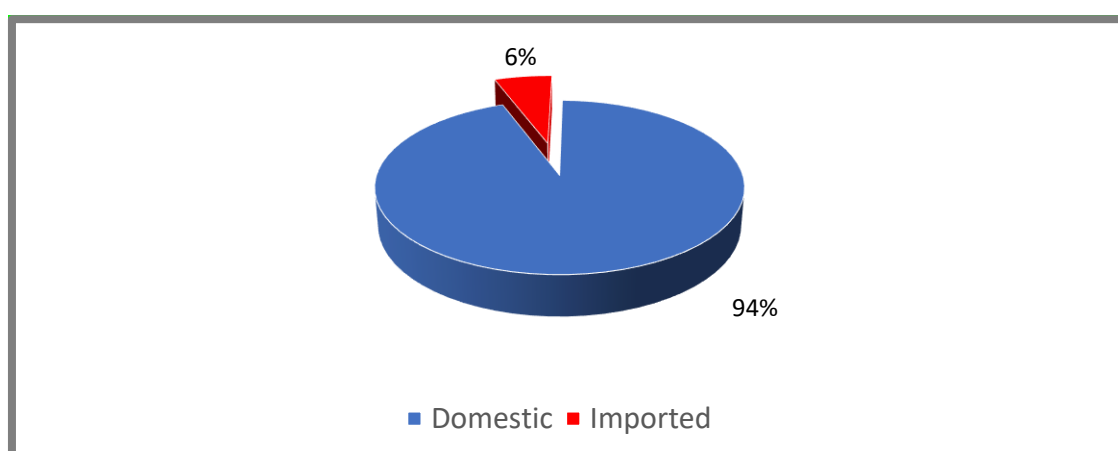
The authors examined how the procedure for the identification of vegetable oils is reflected in legal,

regulatory, and methodological documents. By the Law of the Republic of Kazakhstan «On Technical Regulation», technical regulations should contain provisions on identification for a specific type of product.

In the fourth stage, a draft of national standards «Traceability in the production chain of vegetable oils», «Vegetable oils. Terms and definitions». The issues of the terminology of vegetable oils are of particular importance. This applies both to terms and definitions related to finished products and technological terminology. The lack of standardized requirements in this area leads to the falsification of products and the deception of consumers.

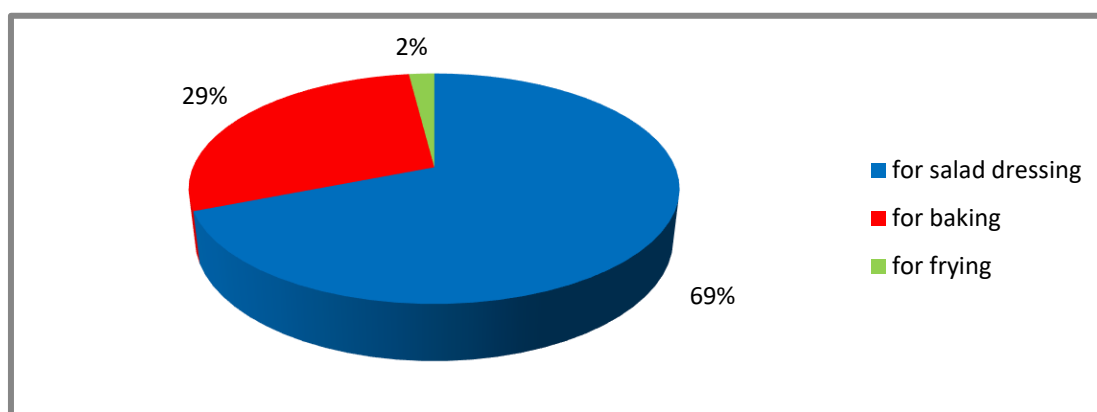
Research results

The first question we asked consumers: «Do you prefer vegetable oils of domestic or imported production? » The data is shown in Picture 1. As can be seen from the diagram, many consumers (94.2%) prefer domestic products, and only 5.8% of respondents buy imported products



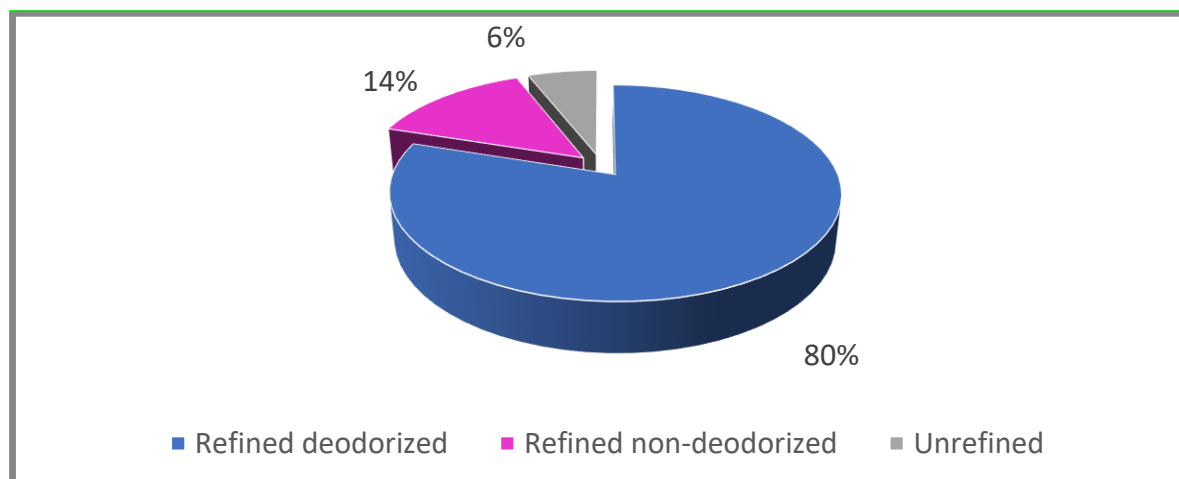
Picture 1. Preferences of residents of the city of Nur-Sultan to producers of rapeseed and linseed oils

For the most part, consumers use rapeseed and linseed oil for salad dressing (69%), for baking (29%), for frying (2%) (Pic. 3).



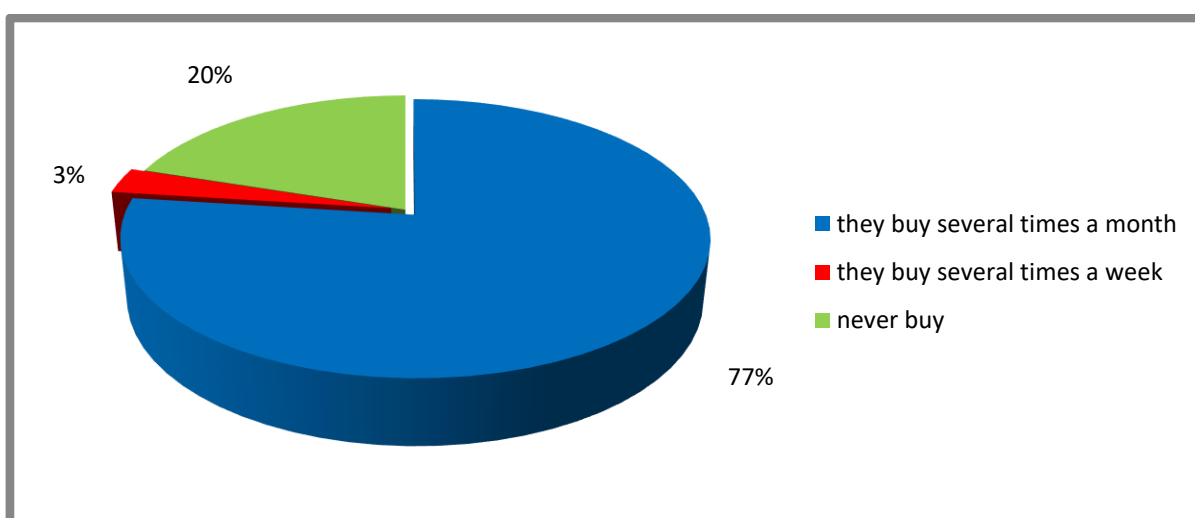
Picture 2. Area of use of rapeseed and linseed oils

Studies have shown that refined deodorized rapeseed and linseed oil are preferred by 80%, and refined non-deodorized - by 14% (Pic. 3).



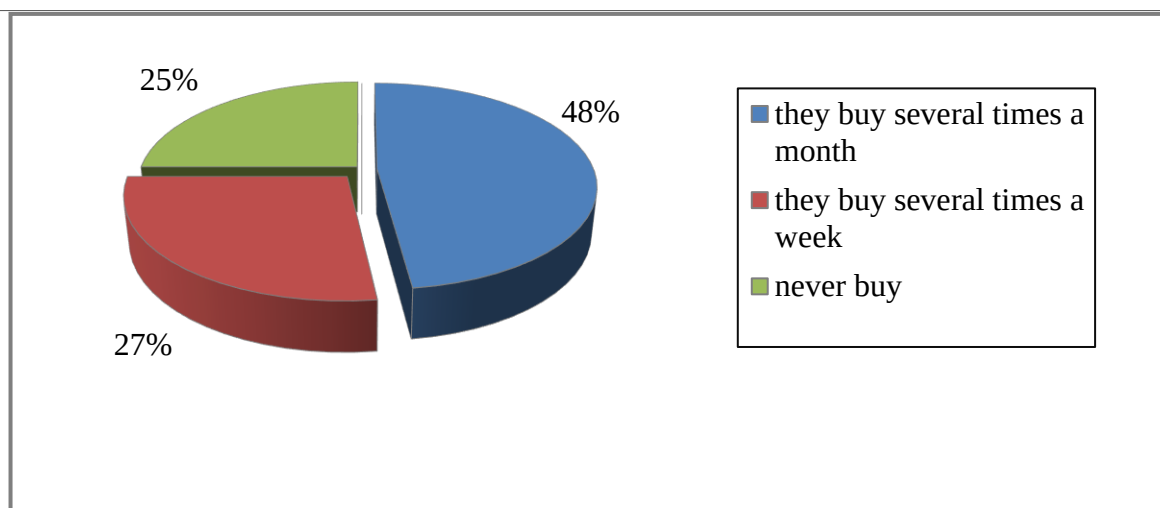
Picture 3. Consumer preferences on the degree of purification of rapeseed and linseed oils

To the question «How often do you buy rapeseed oil?» the majority of respondents (77.1%) replied that they purchase this category of products several times a month; 2.7% of respondents - several times a week, 20.2% do not buy this category of goods at all (Pic.4).



Picture 4. Structure of rapeseed oil consumption

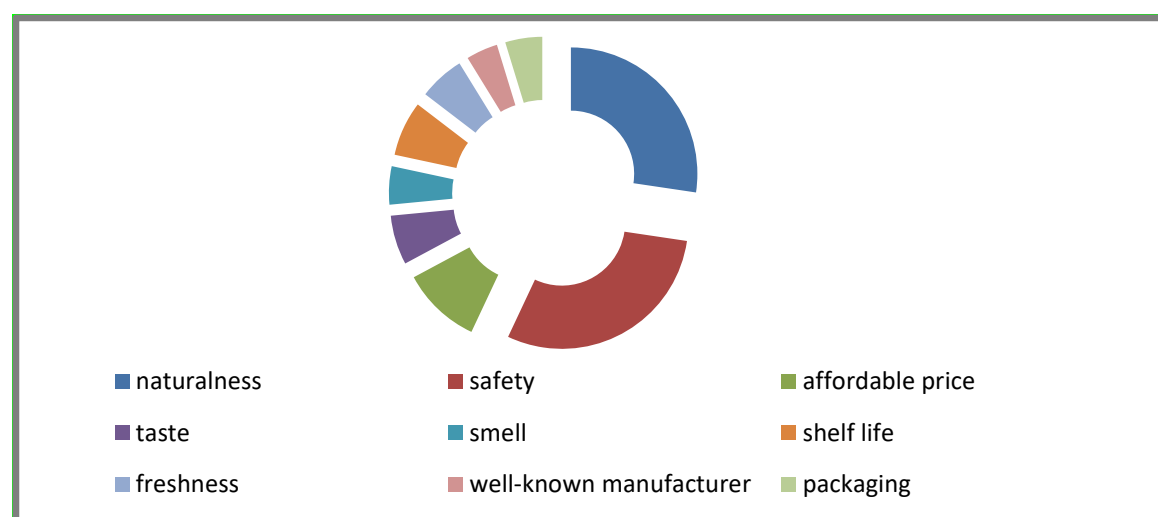
The results of the study of linseed oil are as follows: 47.6% of respondents chose the best option for buying linseed oil – "several times a month", 27.3% prefer to purchase these products several times a week and 25.1% do not buy linseed oil at all (Pic.5).



Picture 5. The structure of consumption of linseed oil

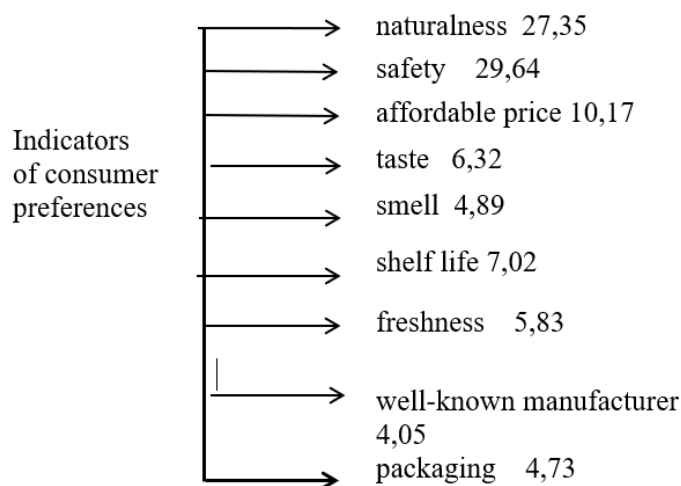
At the next stage of research, the nomenclature of consumer properties of rapeseed oil was identified, expressed in the «language of consumers», the ranking of the identified nomenclature was carried out and the weighting coefficients (relative) were determined. The results of determining the weighting coefficients of consumer preference indicators are presented in Figure 6.

As can be seen from Figure 6, the most important indicators of the consumer properties of sour cream are two indicators: naturalness (relative. = 27.35%) and security (29.64%). The indicators of average importance include the remaining indicators of consumer preferences (affordable price, taste, smell, shelf life, freshness, well-known manufacturer, packaging), which account for slightly more than half of the total value of the weighting coefficients of consumer preferences (56.99%) (Pic. 6).



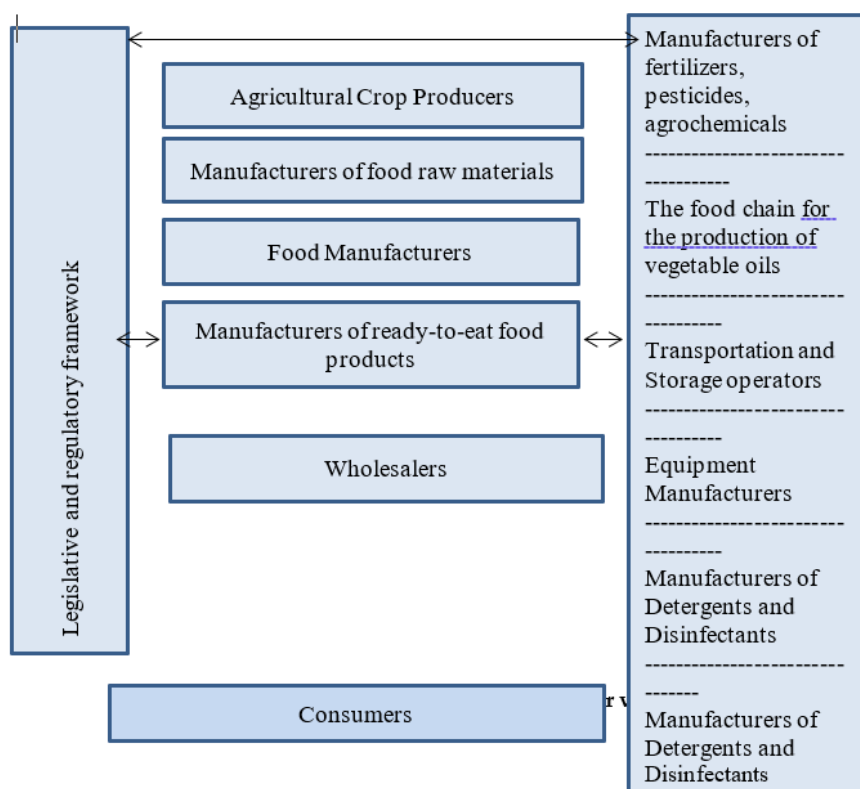
Picture 6. Weighting coefficients of consumer properties of rapeseed oil

The obtained results allow us to form a part of the properties tree – a tree of indicators of consumer preferences for the quality of rapeseed oil (Pic. 7).



Picture 7. A tree of indicators of consumer preferences for the quality of rapeseed oil with weighting coefficients

We have scientifically substantiated the basic structure of a multilevel hierarchical quality management system of vegetable oil. The safety and quality of the product are created in stages at each level of the system (Pic. 8).



Picture 8. Safety and quality assurance system for vegetable oils

Analysis of GOST 18848-2019 «Vegetable oil. Organoleptic and physico-chemical indicators «Terms and definitions» showed that the presented terms affect only terminology related to the quality and safety indicators of vegetable oils.

The developed document contains terms and definitions of the stages of rapeseed oil production,

intermediate and by-products of the production process.

A comparative analysis of the terms adopted in the domestic practice of vegetable oil production with terms standardized abroad shows that direct use of international terminology in some cases is impossible.

The authors have developed a label layout. The layout is a scan of a package or part of it, or a label containing illustrations, text, signs and barcodes, the requirements for which must be met based on the collected data. The work consisted of several stages. Experts – representatives of trade organizations of the city of Nur-Sultan were invited to this work. It is established that at all stages of the label layout development process, problems and inconsistencies of the object with the specified criteria and parameters should be identified and predicted. In order to establish the absolute and relative importance of each of the considered stages of the process, a matrix diagram was constructed.

It has been established that labeling that does not have the necessary degree of reliability can lead to undesirable consequences as a result of incorrect product selection by the consumer. To determine the level of consequences for the consumer, the authors applied a methodology (Rozhina N.V., 2011), including a list of possible inconsistencies in labeling, as well as a scale for assessing the significance of consequences for the consumer (Table 1).

Table 1. Scale for determining the significance of the consequences for the consumer

Characteristics of the consequences for the consumer	Characteristics of the consequences for the consumer	Evaluation
No consequences	There will be no consequences	1
Weak	Dissatisfaction with consumer expectations	2
Moderate	Dissatisfaction with the needs of the consumer	3
Dangerous	Causing harm to the consumer's health	4

Based on the study and analysis of legislative and regulatory-technical documentation, as well as the results of 245 samples of labeling of consumer containers of vegetable oil, the labeling elements presented in the form of a tree diagram are established (pic.9).

To systematize the identification features of vegetable oils, the authors analyzed the basic concepts, concepts of production processes and indicators of vegetable oils included in the Technical Regulations of the Customs Union for fat and oil products (TR CU 024/2011), and also studied the regulatory and technical documentation of the industry.

The authors provide a list of signs for all identified groups of signs. It is established that the signs attributed to the group, including technological features of the production of vegetable oils, correspond to the information reflected in the labeling elements «product name», «information on the composition of the product», «information on storage conditions»; a group of signs, including information on the physico-chemical parameters of the product - in the labeling elements «information about nutritional value», «mass fraction of fat» (including «the mass fraction of fat in the dry matter of the product», the mass fraction of milk fat in the fat phase of the product); a group including microbiological identification features determines whether the product belongs to the group of fermented milk products (dairy and dairy components) and fermented products (dairy components and milk-containing products, including heat-treated), taking into account the content in them microorganisms, thereby determining the name of the product. A number of unmarked identification features have been identified, which are used in the assessment and confirmation of conformity or are classification, allowing the product to be attributed to a specific grouping (for example, the mass fraction of protein in skimmed milk solids, the fermentation process, etc.), or clarifying (for example, information about organoleptic signs when forming the product

name)

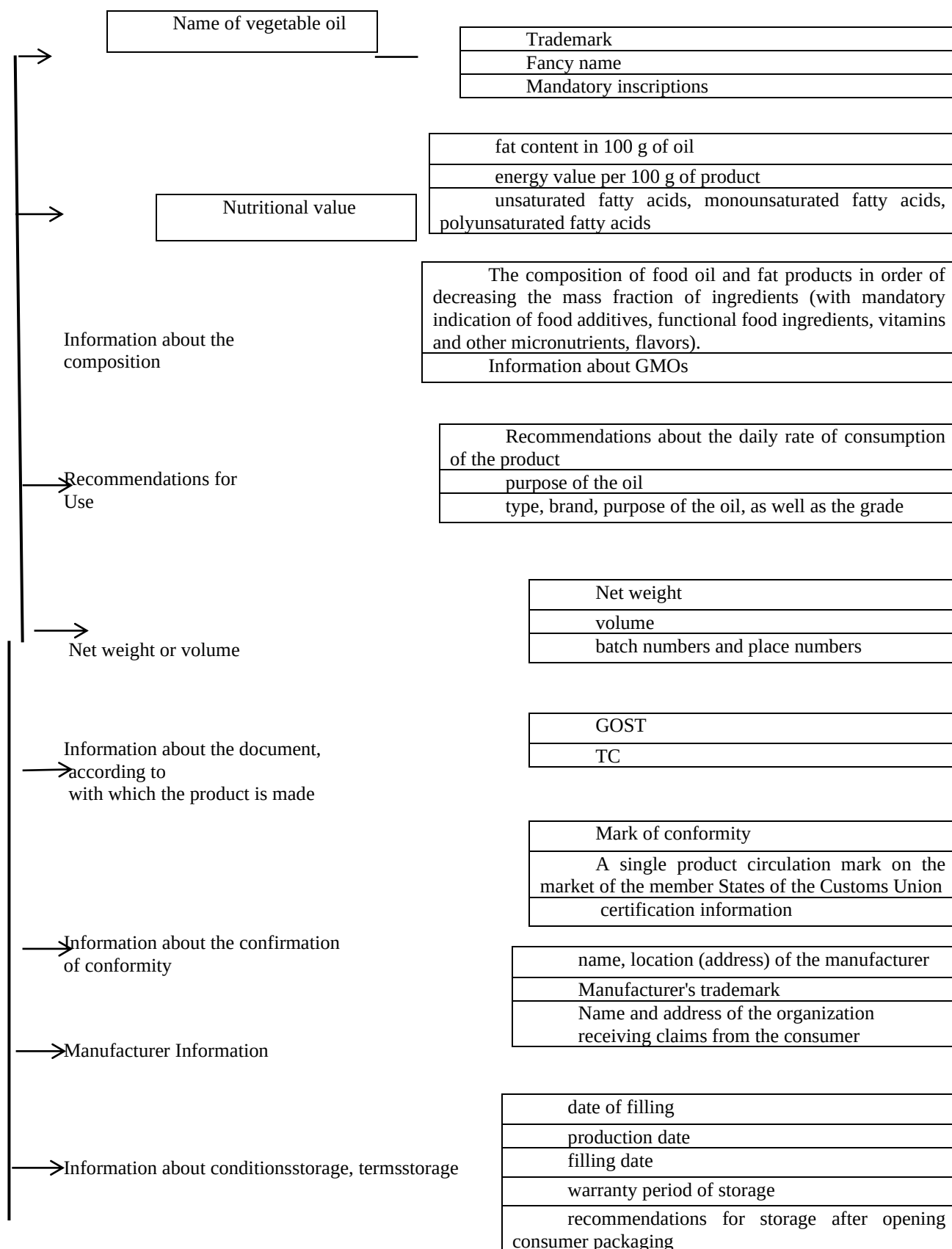


Table 2 presents the results of an expert assessment of determining the significance of aspects of labeling vegetable oils.

Table 2. The significance of the consequences of errors in labeling elements for the consumer

The level of significance of the consequences for the consumer	Evaluation	Name of the marking element
No consequences	1	1. Information about the document according to which the product is manufactured 2. Information about the manufacturer
Weak	2	1. Net weight (or volume) 2. Nutritional value
Moderate	3	1. Name of vegetable oil 2. Information on conformity assessment
Dangerous	4	1. Information about storage conditions, production date and expiration date 2. Information about the composition 3. Recommendations for use

The above results were used by the authors as the basis for the draft national standard «Traceability in the production chain of vegetable oils». When developing a standard, it is necessary to consider the requirements of technical regulations, production features, product characteristics, and consumer expectations. As you know, the complexity of the traceability system varies depending on the properties of the products and the goals set.

The proposed document implements the following principle:

- protection of consumer rights through the development and operation of a methodological tool for designing information for consumers based on process and system approaches, which will increase consumer guarantees regarding the purchase of high-quality and safe vegetable oil that meets legislative requirements and consumer requirements.

When developing the standard, the following factors were considered:

- technical limitations specific to the organization and products (for example, the nature of raw materials, batch size, collection and transportation procedures, processing and packaging methods);
- the economic effect of the costs of using such a system.

The standard establishes the principles and basic requirements for the development and implementation of a traceability system for vegetable oils in their production chain. The standard will be intended for use by any organization working at any stage of the production of vegetable oils. The application of the developed standard should be flexible enough to allow organizations producing vegetable oils to achieve their goals. The traceability system should document the history of the product and/or its position in the vegetable oil production chain. This standard will facilitate the search because caused non-compliance with the requirements and will allow, if necessary, to cancel or recall products. The standard can also improve the proper use and reliability of the information, and the efficiency and productivity of the organization's activities.

The traceability system at enterprises has been developed based on the following data: objectives; regulatory and policy requirements related to traceability; products and/or ingredients; place in the vegetable oil production chain; material flow; information requirements; procedures; documentation; coordination of the vegetable oil production chain.

According to the requirements of the standard, information about the movement of materials (products) within the traceability system must be linked to the origin of materials, the history of

technological processing, and the distribution of vegetable oils. The analysis of the organization's traceability system should be carried out at appropriate intervals or when changes are made to goals and/or products or processes. On the basis of such an analysis, appropriate corrective or preventive actions are taken, which makes it possible to establish a process of continuous improvement. According to the standard, this analysis should contain, among other things, the following data:

- traceability of test results;
- traceability of audit results;
- changes made to products or processes;
- traceability information provided by other organizations of the vegetable oil production chain;
- corrective actions regarding traceability;
- customer reviews, including complaints about traceability;
- new or amended technical regulations affecting traceability;
- new statistical methods of evaluation.

Discussion

Studies of consumer preferences have shown (Fig. 1-6) that most respondents surveyed in the city of Nur-Sultan want vegetable oils to be natural and safe. Most respondents (94%) prefer to purchase domestic products, in their opinion, the products of local manufacturers are of higher quality, short shelf life, and safe to use.

As the respondents noted, the falsification of vegetable oils is common, and the re-sorting of vegetable oils is also widespread. Highly refined vegetable oils are very often replaced by crude and even technical types of oils. High-quality adulteration of rapeseed and linseed oils can be achieved in the following ways: violation of production technology; violation of the formulation; violation of purification technology.

As the survey results showed, quantitative falsification of vegetable oils is very common when the net weight of the container with vegetable oil is less than what is written on the package itself. Consumers note that many packages with vegetable oil indicate that it does not contain cholesterol. But all types of vegetable oil have never contained cholesterol, since this substance is synthesized only by animal organisms. This information misleads the ordinary consumer and is just an advertisement.

The analysis of legal, regulatory, and methodological documents showed the following. According to this Technical Regulation of the Customs Union for Fat and oil products (TR CU 024/2011), the identification of vegetable oils is carried out by one and (or) several of the following methods: by name, visual method, organoleptic method, analytical method. As the analysis of the Technical Regulations has shown, the problems of identification of vegetable oils in this document have not been completely solved. Due consideration of this issue should be carried out within the framework of separate documents, which are related to the quality and safety of vegetable oils, and their falsification.

Let's turn to the interstate standard GOST 18848-2019 «Vegetable oils. Organoleptic and physicochemical parameters. Terms and definitions». This standard defines the terms and definitions of the basic concepts in the field of indicators of vegetable oils. According to this document, the complex Physico-chemical indicators for most vegetable oils include a fatty acid composition of vegetable oil, the density of vegetable oil, a refractive index of vegetable oil, solid fat content [solid triacylglycerols], a melting point of vegetable oil, solidification temperature of vegetable oil, titer [solidification temperature of fatty acids] of vegetable oil, flash point vegetable oil, the ignition temperature of vegetable oil, the mass fraction of moisture in vegetable oil, the mass fraction of moisture and volatile substances in vegetable oil, the mass fraction of non-fat impurities in vegetable oil, vegetable oil sludge by volume, the total ash content in vegetable oil, the mass fraction of phosphorus-containing substances in vegetable oil, color number, acid number, peroxide number, etc.

The analysis of GOST 18848-2019 showed that it is necessary to update the terms, if necessary, replace them with new ones that meet the requirements. Currently, many compositions of vegetable oils with a balanced composition of fatty acids have been developed, and therefore the authors recommend making changes to the standard in terms of terminology and metrological support.

Interstate standard GOST 32190-2013 «Vegetable oils. Acceptance rules and sampling methods» establishes acceptance rules, methods and means of sampling unpacked and prepackaged vegetable oils.

Modern world trends in the field of healthy nutrition («organic», «bio») are aimed at the consumption of natural vegetable oils, as close as possible to nature and with a minimum degree of chemical and thermal effects. Indicators of oxidation of vegetable oils in most countries, including the USA and the European Union, are indicators of the quality of vegetable oils and are set individually for each type of oil, depending on the growing conditions of oil plants and methods of subsequent processing.

The interstate standard GOST 33441-2015 applies to vegetable oils and establishes a near-infrared spectroscopy method for simultaneous rapid determination of the following quality and safety indicators: acid number; peroxide number; anisidine number; mass fraction of phosphorus-containing substances; mass fraction of erucic acid (for vegetable oils from cruciferous seeds); mass fraction of transisomers of fatty acids [18].

Interstate standard GOST 5477-2015 «Vegetable oils. Chromaticity determination methods» establishes two methods for determining the chromaticity of unrefined and refined vegetable oils:

- on an iodine scale in the range from 1 to 100 mg of iodine for all oils except cotton;
- on the Lovibond scale in conventional units for all oils, including cotton.

Currently, the main criterion for assessing the biological and nutritional value, as well as detecting adulteration of vegetable oils, is the fatty acid composition of their triglycerides. In the vast majority of cases, it is characterized by the predominance of some fatty acids and a small content or absence of others, which is the basis for the group classification of oils by iodine number. In recent decades, there has been a clear trend towards their replacement by less labor-intensive modern physico-chemical instrumental express methods. Currently, chromatographic and optical methods are the most common of the instrumental methods of quality control and detection of possible adulteration of vegetable oils.

As an example, we will give the interstate standard GOST 30623-2018 «Vegetable oils and products with a mixed composition of the fat phase. The method of detecting falsification». This standard establishes a method for detecting adulteration of vegetable oils and products with a mixed composition of the fat phase containing oils and fats of non-dairy origin and milk fat (spreads and ghee mixtures). The conformity of the investigated vegetable oil to the claimed name is established by comparing the fatty acid composition determined because of measurement with the fatty acid composition of the vegetable oil of the corresponding name.

Thus, the quality and safety control of vegetable oils is carried out by various standard methods, among which there are both chemical and instrument (for example, gas-liquid chromatography) [17-26].

However, the existing variety of instrumental methods for identifying vegetable oils does not solve the identification problem, since the adaptation of existing methods is required in relation to the control of toxic additives, various mixtures of vegetable oils, and the authenticity of products.

When setting certain types of vegetable oils for production, the absence of established standards makes it difficult to: determine its group affiliation and identification name; select criteria and indicators of product safety, determine the risks of the production process and further confirm compliance. It is not excluded that the consumer may be misled about the nature, origin and composition of vegetable oils.

As the analysis showed, there is no unified approach to the presentation of the identification procedure for vegetable oils in the considered regulatory documents. In the reviewed regulatory documents, there is no clear requirement to confirm its composition and structure.

When developing a traceability and identification system for vegetable oils, it is necessary to take into account the following.

According to TR CU 024/2011, the quality indicators of vegetable oils after contact with steel may

change, since the chemical elements that make up the steel are oxidation catalysts and can lead to oxidative damage [16].

Other possible causes of the appearance or presence of a sharp odor in oils should not be excluded, namely:

- the possibility of adding poorly purified extraction oil with a large amount of residual solvent;
- the probability that the oil consists of a mixture of vegetable oils with a high content of unsaturated fatty acids, especially linolenic, the presence of which is characteristic of the group of drying vegetable oils (linseed, etc.) [15].

As the research results have shown, in accordance with the legislation in the field of consumer protection, products that do not have relevant information about the product and do not correspond to the information provided cannot be in circulation.

Such products are recognized as substandard and/or dangerous to the consumer and are subject to rejection. According to the control and supervision authorities, one of the reasons for the rejection of products is a violation of the labeling rules.

Information obtained as a result of product identification and traceability often helps to identify opportunities for improving the quality of products in an organization.

Firstly, it is necessary to identify any hazards in the production process that may lead to the release into circulation of vegetable oils that do not meet the requirements of the current regulatory and technical documentation (technical regulations, standards). Secondly, to identify critical control points in the production process in which control is needed to prevent or eliminate hazards. Thirdly, to set the limit values of indicators determined and controlled at critical control points. Fourth, monitor the indicators controlled at critical control points. Fifth, to establish the procedure for actions in case of deviation from the established safety indicators [11].

Thus, the basis of the proposed traceability system is a fund of normative and methodological documents, which represents the identification methodology, in particular, methods for testing indicators of vegetable oils, sampling, etc.

It is necessary to develop standards regulating many aspects important for ensuring the identification of vegetable oils. In particular, terminology, sampling for testing, requirements for test reports, etc.).

CONCLUSION

1. Marketing research has shown that rapeseed and linseed oils are in demand in the consumer market of Kazakhstan. When buying rapeseed and linseed oil, consumers focus mainly on the naturalness and safety of the product, prefer domestic vegetable oils. Refined deodorized oil, which is used mainly for salad dressing and baking, is in great demand among them.

2. The levels of significance of the consequences for the consumer of violations in the labeling of consumer packaging are scientifically substantiated on the basis of an expert assessment. It has been established that inconsistencies in the labeling elements of vegetable oil are critical for the consumer: «information on the composition of the product», "information on storage conditions, production date and shelf life», «nutritional value».

3. A schematic diagram of the quality management of vegetable oils has been developed. A draft of the national standard «Traceability in the production chain of vegetable oils» has been developed.

4. A system of external and internal documents has been formed that are mandatory for use in the design of marking elements. A model of the process "Designing and developing information for the consumer" has been developed.

Based on the above, the basis of regulatory quality assurance and safety of rapeseed and linseed oils should be based on measures that can be conditionally divided into 3 large groups. The first group of

measures is related to the creation of new national and interstate standards for rapeseed and linseed oils. The second group of activities is related to the development of new methods for the identification of vegetable oils. The third group of tasks concerns the creation of reproducible and standardized reference measures suitable for tuning, calibration and verification of instruments for measuring the oxidation rate of vegetable oils.

Список литературы

1. Отчет по результатам исследования «Производство растительных масел в Республике Казахстан»/ Подготовлен в рамках проведения маркетинговых исследований в приоритетных секторах Единой программы поддержки и развития бизнеса «Дорожная карта бизнеса 2020», г. Алматы, сентябрь 2017 г.
2. Щепанский И.С. Настольная книга молодого ученого. Учебно-методическое пособие/ М.: Проспект, 2017. - 228 стр.
3. Симакова И.В. Научные и прикладные аспекты обеспечения безопасности продукции быстрого питания, Саратов, 2015.
4. Бурункова Ю.Э. Растительные масла: свойства, технологии получения и хранения, окислительная стабильность: Учебно-методическое пособие /Ю.Э. Бурункова, М.В. Успенская, Е.О. Самуйлова. - СПб: Университет ИТМО, 2020. – 82 с.
5. Технический регламент Таможенного союза на масложировую продукцию. ТР ТС 024/2011. Утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9.12.2011 г. № 883.
6. ГОСТ 8988-2002 Масло рапсовое. Технические условия.
7. ГОСТ 31759-2012 Масло рапсовое. Технические условия.
8. СТ РК 1429-2005 Масло рапсовое пищевое. Технические условия.
9. ГОСТ 5791-81 Масло льняное техническое. Технические условия.
10. СТ РК 2645-2015 Масло льняное нерафинированное пищевое. Технические условия.
11. Дунченко Н.И. Научные и методологические подходы к управлению качеством пищевых продуктов /Ж. Техника и технология пищевых производств. - 2012. № 3.
12. Берновский Ю.Н. Стандарты и качество продукции: учебно-практическое пособие/ Ю.Н. Берновский. - М. АСМС, 2014. - 256 с.
13. Шадыро О.И., Сосновская А.А., Едимечева И. П. Разработка эффективных методов стабилизации льняного масла и продуктов на его основе/ Свиридовские чтения: сб. ст. Вып. 13. - Минск: Изд. центр БГУ, 2017. - С. 315-335
14. Nguyen V. Le, Ly N. Sam, Le T. Huong & Isiaka A. Ogunwande Chemical Compositions of Essential Oils and Antimicrobial Activity/ Web of science Journal of Essential Oil Bearing Plants. - 2022. – P. 82-92.
15. Aicha H., Said N., Susana D., Maria G.M. Myrtus communis essential oils: insecticidal, antioxidant and antimicrobial activities: a review/ Web of science May 2019 Journal of Essential Oil Research: Pages 487-545.
16. Mohammad Reza Delfieh et Changes in Seed and Shoot Essential Oil/ Web of science February 2022 Journal of Essential Oil Bearing Plants Volume 25, 2022: 38-51.
17. Keqing H., Zongyao H., Shaoxuan D., Yaoyao D., Xiuzhu Y. Investigation on food packaging polymers: Effects on vegetable oil oxidation / Web of science Food Chem. 2020.
18. Abdul N., Azmil H., Muhamad R., Ainie K., Lee H. Method for the determination of total chloride content in edible oils / Web of science February 2022. eISSN: 2811-4701.
19. Hui J., Yingchao H., Quansheng C. Qualitative identification of the edible oil storage period using a homemade portable electronic nose combined with multivariate analysis / Web of science J Sci Food Agric. 2021 Jun;101(8):3448-3456.
20. Gerard Z., Stavroula L., Pete K., Aditya J. Vision zero: Developing proactive leading indicators

for safety, health and wellbeing at work / Web of science October 2020 Safety Science 130:104890.

21. Springer/Plenum publishers Oxidized methyl ester of rapeseed oil as bitumen flux: structural changes in the complex ether during catalytic oxidation /Web of science 2015 Science Citation Index Expanded 233 Spring st, New york, USA, NY, 10013.

22. S. N. Saxena, R. Swarup Meena, M. K. Vishal, S. John, L. Kumar Sharma, B. K. Mishra & D. Agarwal Variation in essential oil constituents of coriander / Web of science Journal of Essential Oil Research 2021.

23. Мустафаев С.К. Влияние условий прессования семян л'нанавах оди качество масла/ Научный журнал КубГАУ, №100(06), 2014 г., с. 1-14.

24. Худашова А.И. Влияние качества моторных масел на токсичность отработавших газов/ Наука без границ. - №2(7). - 2017.

25. Мамонтов А.С. Исследование процессов окисления растительных масел при транспортировке и хранении/ Ж. Food Processing: Techniques and Technology. 2014. № 3. - С.136-140.

26. ГОСТ 31664-2012 Масла растительные и жиры животные. Метод определения состава жирных кислот в положении 2 в молекулах триглицеридов.

27. ГОСТ 31663-2012 Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров жирных кислот.

28. ГОСТ 30418-96 Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава

29. ГОСТ 31663-2012 Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров жирных кислот.

30. СТ РК ИСО 660-2011 Жиры и масла животные и растительные. Определение кислотного числа и кислотности.

31. СТБ ГОСТ Р 51487-2001 Масла растительные и жиры животные. Метод определения перекисного числа (Национальный стандарт Республики Беларусь).

32. ГОСТ 31933-2012 Масла растительные. Методы определения кислотного числа.

33. ГОСТ 26593-85 Масла растительные. Метод измерения перекисного числа.

34. ГОСТ ISO 3960-2013 Жиры и масла животные и растительные. Определение перекисного числа. Йодометрическое (визуальное) определение по конечной точке.

35. ГОСТ 33441-2015 Масла растительные. Определение показателей качества и безопасности методом спектроскопии в ближней инфракрасной области.

К.А. Байгенжинов¹, Б.У. Байхожаева², А.Г. Жүсіпов¹,

Ж.М. Қамбарова¹, Ж.А. Есімова¹

¹«Қазақ қайта өңдеу және тамақ өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

²Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Рапс және зығыр майларының тотығуына әсер ететін сапалық көрсеткіштер

Аңдатпа. Жоғары сапалы және қауіпсіз өсімдік майларын өндіру маңызды ұлттық экономикалық міндет болып табылады.

Мақалада рапс және зығыр майларының сапасы мен қауіпсіздігін арттырудың қолданбалы аспектілеріне талдау жасалды. Рапс және зығыр майларының сапасы мен қауіпсіздігіне әсер ететін факторлар талданады. Нұр-сұлтан қаласында рапс және зығыр майларының тұтынушылық артықшылықтарына зерттеулер жүргізілді. Талдау нәтижелері тұтынушы Өсімдік майларының сапасы мен қауіпсіздігін қалайтындығын көрсетті.

Майлы шикізаттың құрамы мен технологиялық қасиеттеріне көптеген факторлар әсер

ететіндіктен, өндірістік процесті реттеу және Өсімдік майларының сапасы мен қауіпсіздігін жақсарту үшін майлы шикізаттың сапасы оның негізінде өндірілген дайын өнімнің сипаттамаларына қаншалықты әсер ететіндігі туралы ақпарат болуы керек.

Майлы шикізаттың параметрлерін іріктеуге жеке тәсілді қолдана отырып, Өсімдік майларының әрбір өндірістік циклі үшін нәтижелер мен процестердің қадағалануын қамтамасыз етуге, сондай-ақ нормативтік құжаттаманың және КО ТР 024/2011 талаптарына сәйкес өндірістік бақылау бағдарламасын тиімді орындауға болады.

Мақалада өсімдік майларына арналған қолданыстағы нормативтік-техникалық құжаттаманы жетілдіру бойынша қадамдар жасалды. Өсімдік майларын қадағалау жүйесіне негізделген тәсілді қолдану ұсынылды. Осы ұстанымдардан рапс және зығыр майларының тотығуына әсер ететін сапа көрсеткіштерін өлшеудің кейбір негізгі ерекшеліктері мен аспектілері қарастырылады, "өсімдік майларын өндіру тізбегіндегі бақылау" ұлттық стандартын құру негізделген. Өсімдік майларын өңдеу, сақтау, тасымалдау және сату процестері арасындағы байланысты зерттеуге және анықтауға мүмкіндік беретін жүйелі тәсілге байланысты.

Кілт сөздер: рапс майы, зығыр майы, сапасы, қауіпсіздігі, қадағалануы, тұтынушы

**К.А. Байгенжинов¹, Б.У. Байхожаева², А.Г. Жусипов¹,
Ж.М. Камбарова¹, Ж.А. Есимова¹**

¹ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Нур-Султан, Казахстан

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Качественные показатели, влияющие на окисление рапсового и льняного масел

Аннотация. Производство качественных и безопасных растительных масел является важной народнохозяйственной задачей.

В данной работе проведен анализ прикладных аспектов повышения качества и безопасности рапсового и льняного масел. Проанализированы факторы, влияющие на качество и безопасность рапсового и льняного масел. Проведены исследования потребительских предпочтений в отношении рапсового и льняного масел в г. Нур-Султан. Результаты анализа показали, что потребитель отдает предпочтение качеству и безопасности растительных масел.

Поскольку на состав и технологические свойства масличного сырья оказывают влияние многие факторы, то для регулирования производственного процесса и улучшения качества и безопасности растительных масел необходимо располагать сведениями, в какой степени качество масличного сырья влияет на характеристики готового продукта, выработанного на его основе.

Применяя индивидуальный подход к подбору параметров масличного сырья, можно обеспечить прослеживаемость результатов и процессов для каждого производственного цикла растительных масел, а также эффективно выполнить программу производственного контроля в соответствии с требованиями нормативной документации и ТР ТС 024/2011.

В статье предприняты шаги по совершенствованию действующей нормативно-технической документации на растительные масла. Предложено использовать подход, основанный на системе прослеживаемости растительных масел. С этих позиций рассмотрены некоторые ключевые особенности и аспекты измерений качественных показателей, влияющих на окисление рапсового и льняного масел, обосновано создание национального стандарта «Прослеживаемость в цепочке производства растительных масел». Методология и методы исследования обусловлены системным подходом, позволяющим изучать и выявлять взаимосвязь между процессами переработки, хранения, транспортирования и реализации растительных масел.

Ключевые слова: Рапсовое масло, льняное масло, качество, безопасность, прослеживаемость, потребитель

References

1. Otchet po rezul'tatam issledovaniya «Proizvodstvo rastitel'nyh masel v Respublike Kazahstan»/ Podgotovlen v ramkah provedeniya marketingovyh issledovanij v prioritetnyh sektorah Edinoj programmy podderzhki i razvitiya biznesa «Dorozhnaya karta biznesa 2020», g.Almaty, sentyabr' 2017 g.
2. Щепанский И.С. Настольная книга молодого ученого. Учебно-методическое пособие. М.: Проспект, 2017. - 228 s.
3. Simakova I.V. Nauchnye i prikladnye aspekty obespecheniya bezopasnosti produkci bystrogo pitaniya. Diss. dokt. tekhn. nauk, Saratov, 2015.
4. Burunkova, YU.E. Rastitel'nye masla: svoystva, tekhnologii polucheniya i hraneniya, okislitel'naya stabil'nost': Uchebno-metodicheskoe posobie / YU.E. Burunkova, M.V. Uspenskaya, E.O. Samujlova. - SPb: Universitet ITMO, 2020. - 82 s.
5. Tekhnicheskij reglament Tamozhennogo soyuza na maslo zhirovuyu produkciju. TR TS 024/2011. Utverzhden resheniem Komissii Tamozhennogo soyuza ot 9.12.2011 g. № 883.
6. GOST 8988-2002 Maslo rapsovoe. Tekhnicheskie usloviya.
7. GOST 31759-2012 Maslo rapsovoe. Tekhnicheskie usloviya.
8. ST RK 1429-2005 Maslo rapsovoe pishchevoe. Tekhnicheskie usloviya.
9. GOST 5791-81 Maslo l'nyanoe tekhnicheskoe. Tekhnicheskie usloviya.
10. ST RK 2645-2015 Maslo l'nyanoe nerafinirovannoe pishchevoe. Tekhnicheskie usloviya.
11. Dunchenko N.I. Nauchnye i metodologicheskie podhody k upravleniyu kachestvom pishchevyh produktov/ ZH. Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv. - 2012. - № 3.
12. Bernovskij YU.N. Standarty i kachestvo produkci: uchebno-prakticheskoe posobie / YU.N. Bernovskij. - M.ASMS, 2014. - 256 s.
13. SHadyro O.I., Sosnovskaya A.A., Edimecheva I. P. Razrabotka effektivnyh metodov stabilizacii l'nyanogo masla i produktov na ego osnove/ Sviridovskie chteniya: sb. st.Vyp. 13. - Minsk: Izd. centr BGU, 2017. - S. 315-335.
14. Nguyen V. Le, Ly N. Sam, Le T. Huong & Isiaka A. Ogunwande Chemical Compositions of Essential Oils and Antimicrobial Activity/ Web of science Journal of Essential Oil Bearing Plants 2022. – P. 82-92.
15. Aicha H., Said N., Susana D., Maria G.M. Myrtus communis essential oils: insecticidal, antioxidant and antimicrobial activities: a review/ Web of science May 2019 Journal of Essential Oil Research: Pages 487-545.
16. Mohammad Reza Delfieh et Changes in Seed and Shoot Essential Oil/ Web of science February 2022 Journal of Essential Oil Bearing Plants Volume 25, 2022: 38-51. of vegetable oils. The third group of tasks concerns the creation of reproducible and standardized
17. Keping H., Zongyao H., Shaoxuan D., Yaoyao D., Xiuzhu Y. Investigation on food packaging polymers: Effects on vegetable oil oxidation / Web of science Food Chem. 2020.
18. Abdul N., Azmil H., Muhamad R., Ainie K., Lee H. Method for the determination of total chloride content in edible oils / Web of science February 2022. eISSN: 2811-4701 Journal article
19. Hui J., Yingchao H., Quansheng C. Qualitative identification of the edible oil storage period using a homemade portable electronic nose combined with multivariate analysis / Web of science J Sci Food Agric. 2021 Jun;101(8):3448-3456.
20. Gerard Z., Stavroula L., Pete K., Aditya J. Vision zero: Developing proactive leading indicators for safety, health and wellbeing at work / Web of science October 2020 Safety Science 130:104890.
21. Springer/Plenum publishers Oxidized methyl ester of rapeseed oil as bitumen flux: structural changes in the complex ether during catalytic oxidation / Web of science 2015 Science Citation Index

Expanded 233 Spring st, New York, USA, NY, 10013.

22. S. N. Saxena, R. Swarup Meena, M. K. Vishal, S. John, L. Kumar Sharma, B. K. Mishra & D. Agarwal Variation in essential oil constituents of coriander / Web of science Journal of Essential Oil Research 2021.

23. Mustafaev S.K. Vliyanie uslovij pressovaniya semyan l'nanavykh odi kachestvo masla/ Nauchnyy zhurnal KubGAU, №100(06), 2014 g., s. 1-14.

24. Khudashova A.I. Vliyanie kachestva motornykh masel na toksichnost' otrabotavshikh gazov/ Nauka bez granic №2(7) 2017.

25. Mamontov A.S. Issledovanie processov okisleniya rastitel'nykh masel pri transportirovke i hranenii/ ZH. Food Processing: Techniques and Technology. 2014. № 3. - S.136-140.

26. GOST 31664-2012 Masla rastitel'noy zhiry zhivotnykh. Metod opredeleniya sostava zhirnykh kislot v polozenii 2 v molekulakh trigliceridov.

27. GOST 31663-2012 Masla rastitel'noy I zhiry zhivotnykh. Opredelenie metodom gazov oikhromatografii massovo ydolimetilovykh efirov zhirnykh kislot.

28. GOST 30418-96 Masla rastitel'noy. Metod opredeleniya zhirno kislotnogo sostava.

29. GOST 31663-2012 Maslata rastitel'noy I zhiry zhivotnykh. Opredelenie metodom gazov oikhromatografii massov ydolimetilovykh efirov zhirnykh kislot.

30. ST RK ISO660-2011 ZHiry masla zhivotnykh I rastitel'noy. Opredelenie kislotnogo chisla i kislotnosti.

31. STB GOST R 51487-2001 Masla rastitel'noy izhiry zhivotnykh. Metod opredeleniya perekisnogo chisla (Natsional'nyy standart Respubliki Belarus').

32. GOST 31933-2012 Masla rastitel'noy. Metody opredeleniya kislotnogo chisla.

33. GOST 26593-85 Masla rastitel'noy. Metod izmereniya perekisnogo chisla.

34. GOST ISO 3960-2013 ZHiry I masla zhivotnykh I rastitel'noy. Opredelenie perekisnogo chisla. Iodometricheskoy (vizual'noy) opredelenie po konechnoy tochke.

35. GOST 33441-2015 Masla rastitel'noy. Opredelenie pokazateley kachestva I bezopasnosti metodom spektroskopii v blizhney infrakrasnoy oblasti.

Information about authors:

Baigenzhinov K.A. - Master of Technical Sciences. Project manager. «Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry» LLP. Al-Farabi 47, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Baikhodzhaeva B.U. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Standardization, Certification and Metrology» of L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan 13, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Zhusipov A.G. - Master of Technical Sciences. Junior Researcher of the Astana branch of the «Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry» LLP. Al-Farabi 47, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Kambarova Zh.M. - Bachelor of Engineering and Technology. 1st year master's student of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Junior Researcher of «Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry» LLP. Al-Farabi 47, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Yessimova Zh. A. - Master of Engineering and Technology. Senior Researcher at «Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry» LLP. Al-Farabi 47, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Байгенжинов К.А. - техника ғылымдарының магистрі. Жоба жетекшісі. «Қазақ қайта өңдеу және тамақ өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты» ЖШС. Әл-Фараби 47, Нұр-сұлтан, Қазақстан.

Байхожаева Б.У. - техника ғылымдарының докторы, профессор, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Стандарттау, сертификаттау және метрология» кафедрасының меңгерушісі, Қажымұқан 13, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Жүсіпов А.Г. - техника ғылымдарының магистрі. «Қазақ қайта өңдеу және тамақ өнеркәсібі

ғылыми-зерттеу институты» ЖШС Астана филиалының кіші ғылыми қызметкері, Әл-Фараби 47, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Қамбарова Ж.М. - техника және технология бакалавры, Л. Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің 1 курс магистранты, «Қазақ қайта өңдеу және тамақ өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты» ЖШС кіші ғылыми қызметкері, Әл-Фараби 47, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Есімова Ж.А. - техника және технология магистрі, «Қазақ қайта өңдеу және тамақ өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты» ЖШС аға ғылыми қызметкері, Әл-Фараби 47, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Е.А. Басыня¹, А.В. Сафронов²¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, РФ²Научно-исследовательский институт информационно-коммуникационных технологий, Новосибирск, РФE-mail: director@nii-ikt.ru, it-director@nii-ikt.ru

Метод формирования децентрализованного реестра событий информационной инфраструктуры предприятия

Аннотация. В статье описывается проблематика существующих подходов к сбору, обработке и анализу данных информационно-коммуникационного сектора предприятия. Рассматриваются угрозы нештатных внутренних и внешних воздействий на ее объекты и системы. На обзор выносится оригинальный метод формирования децентрализованного реестра событий информационной инфраструктуры предприятия. Научная новизна предлагаемого решения заключается в автоматическом управлении локальными и сетевыми информационными процессами технических объектов на основе данных децентрализованного блокчейн-хранилища с системой управления доверием к регистрируемым событиям. Принятие решений осуществляется на основе объективной и подтвержденной информации. Другим аспектом научной новизны выступает профилирование доступа к информации и защита процесса передачи данных на основе группового, а также итерационного многослойного шифрования. Статья является логическим продолжением работы авторов над децентрализованным подходом к сбору и обработке данных информационной инфраструктуры предприятия. Освещаются разработка, исследование системы обнаружения, предотвращения вторжений и фальсификации реестра событий на основе предложенного подхода для интеграции в качестве модуля системы интеллектуально-адаптивного управления сетевой инфраструктурой предприятия.

Ключевые слова: реестр событий, логи, блокчейн-хранилище, системы управления доверием, системный анализ, обработка, управление информационными процессами.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-139-2-40-50

Введение

Повышение качества функционирования технических систем неотъемлемо связано с вопросами системного анализа, управления и обработки информации в рамках локальных и сетевых взаимодействий. Уровень кибербезопасности является следствием эффективности решения данных задач. Данная работа является логическим продолжением научно-технических изысканий авторов в области децентрализованного подхода к сбору и обработке данных информационной инфраструктуры предприятия [1].

Одним из концептуальных недостатков существующих методов рассматриваемой предметной области выступает уязвимость агрегируемой с агентов/датчиков базы знаний, которая может быть подвержена атакам имперсонации, фальсификации и модификации. Данный аспект затрагивает всю существующую систему хранения логов (событий). Подавляющее большинство управляемого сетевого оборудования функционирует на базе операционных систем семейства Linux и использует систему регистрации событий Syslog (англ. system log — системный журнал). В случае успешного взлома хоста злоумышленник может осуществить различные вредоносные действия с их последующим сокрытием или маскировкой. В качестве простого примера стоит

привести многократное удаление данных на жестком диске по стандарту безопасного стирания магнитных носителей 5220-22 М Министерства обороны США, инициализирующего семикратную перезапись информации. Чтобы событие выхода из системы было также успешно удалено, злоумышленник создает вредоносные скрипты, которые активируются при последующей успешной авторизации легитимного системного администратора, от имени которого происходит повторное удаление данных и ряд других компрометирующих действий. Наиболее распространённым методом защиты от подобных внешних возмущений является зеркалирование логов с использованием расширения системы регистрации событий Rsyslog или систем мониторинга сети и серверов (Zabbix, Observium, Cacti, Icinga и др.). Централизованному сбору и анализу локальных и сетевых логов посвящено множество работ [2–6]. Достоинства подобного подхода заключаются в функциональном удобстве их последующей обработки и анализа. В случаях профессиональных атак на сетевую инфраструктуру предприятия сервер логов становится первоочередной целью. Учитывая типовую настройку локальных и удаленных систем сбора и обработки событий, злоумышленнику не составляет труда взломать локальный объект, получить сведения об удаленном централизованном сервере хранения логов, получить над ним контроль и произвести удаление/модификацию событий. В широком спектре распространенных решений хранение и передача логов по сети осуществляются в открытом виде, создавая опасность инсайдерских атак. Но даже при использовании защищенных каналов связи не осуществляется проверка подлинности и объективности оповещений о событиях, отсутствует их верификация. Является актуальной проблема доверия к журналам событий. В случае, если один из хостов системы будет скомпрометирован злоумышленником, он может отправлять на централизованный сервер большое количество ложной информации, нарушающей функционирование всей инфраструктуры информационно-коммуникационного сектора предприятия.

Цель работы и постановка задач

Целью данной работы являлась разработка, программная реализация и исследование оригинального метода формирования децентрализованного реестра событий информационной инфраструктуры предприятия. Научная новизна предлагаемого решения заключается в автоматическом управлении локальными и сетевыми информационными процессами технических объектов на основе данных децентрализованного блокчейн-хранилища с системой управления доверием к регистрируемым событиям. Принятие решений осуществляется на основе объективной и подтвержденной информации. Другим немаловажным аспектом научной новизны выступают профилирование доступа к информации и защита процесса передачи данных на основе группового, а также итерационного многослойного шифрования.

При проектировании архитектуры программного продукта была учтена необходимость взаимодействия с авторской распределенной системой сбора, обработки и анализа событий сетевой инфраструктуры предприятия [7]. Ставились задачи разработки, исследования системы обнаружения, предотвращения вторжений и фальсификации реестра событий на основе предложенного подхода для интеграции в качестве модуля системы интеллектуально-адаптивного управления инфраструктурой предприятия, разрабатываемой первым автором [8].

Предлагаемое решение

Для нивелирования ранее описанных угроз на обзор выносятся оригинальный метод формирования децентрализованного реестра событий информационной инфраструктуры предприятия, ключевые аспекты функционирования которого отражены на рис. 1 и 2. Стоит отметить, что рис. 1 включает описание подключения к Системе нового хоста и инициализацию

сетевого взаимодействия, а рис. 2 описывает штатный режим работы Системы.

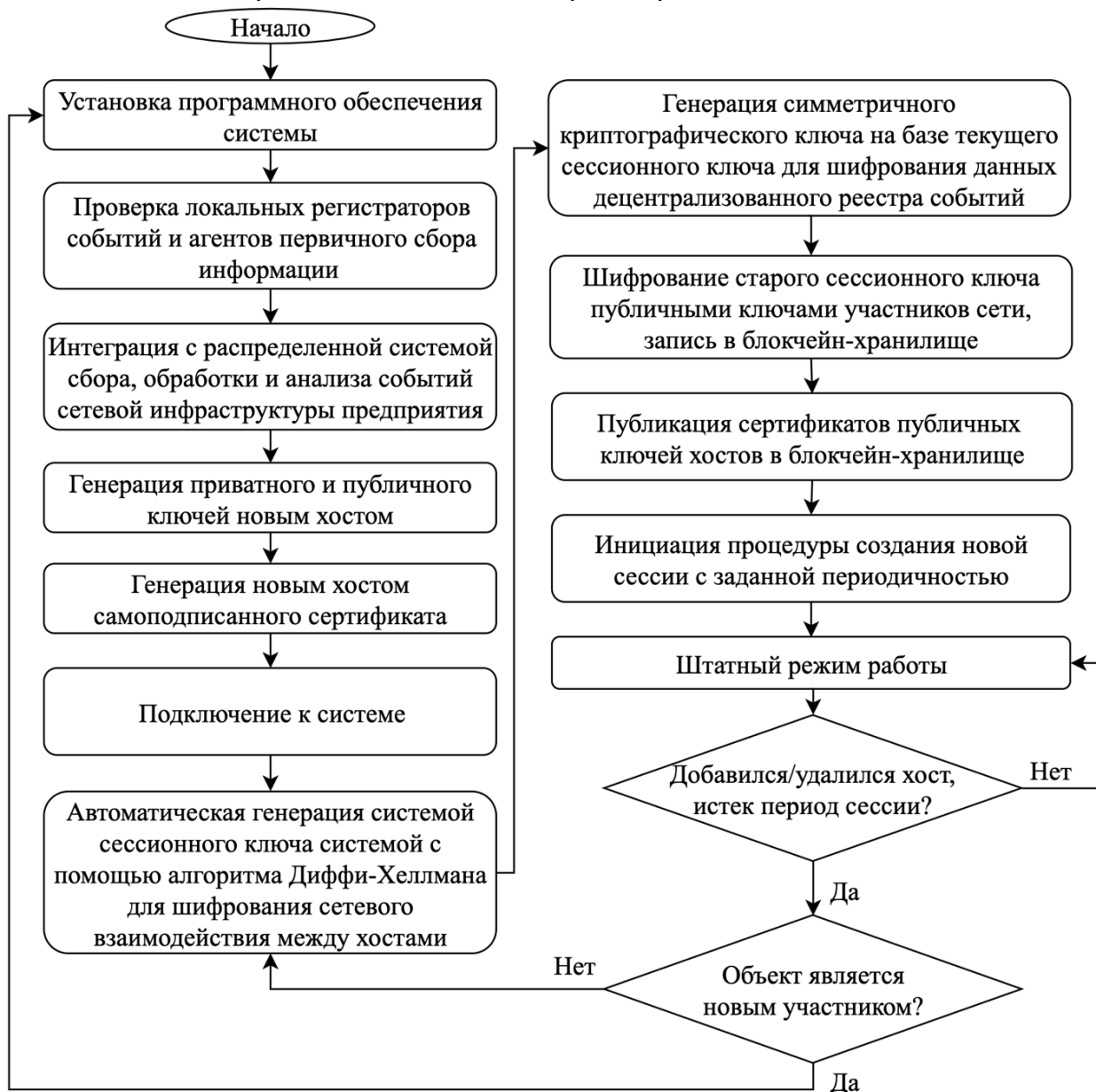


Рис. 1. Блок-схема предлагаемого метода: подключение к системе, инициализация сетевого взаимодействия

Необходимо заметить, что в случаях истечения периода сессии, а также при отключении от Системы хоста либо добавлении ранее подключавшегося объекта производится генерация сессионного ключа в автоматическом режиме с дальнейшей генерацией симметричного ключа на базе сессионного. Тогда как при добавлении узла, ранее не являющегося участником взаимодействия, повторно выполняется инициация полной процедуры подключения к Системе.

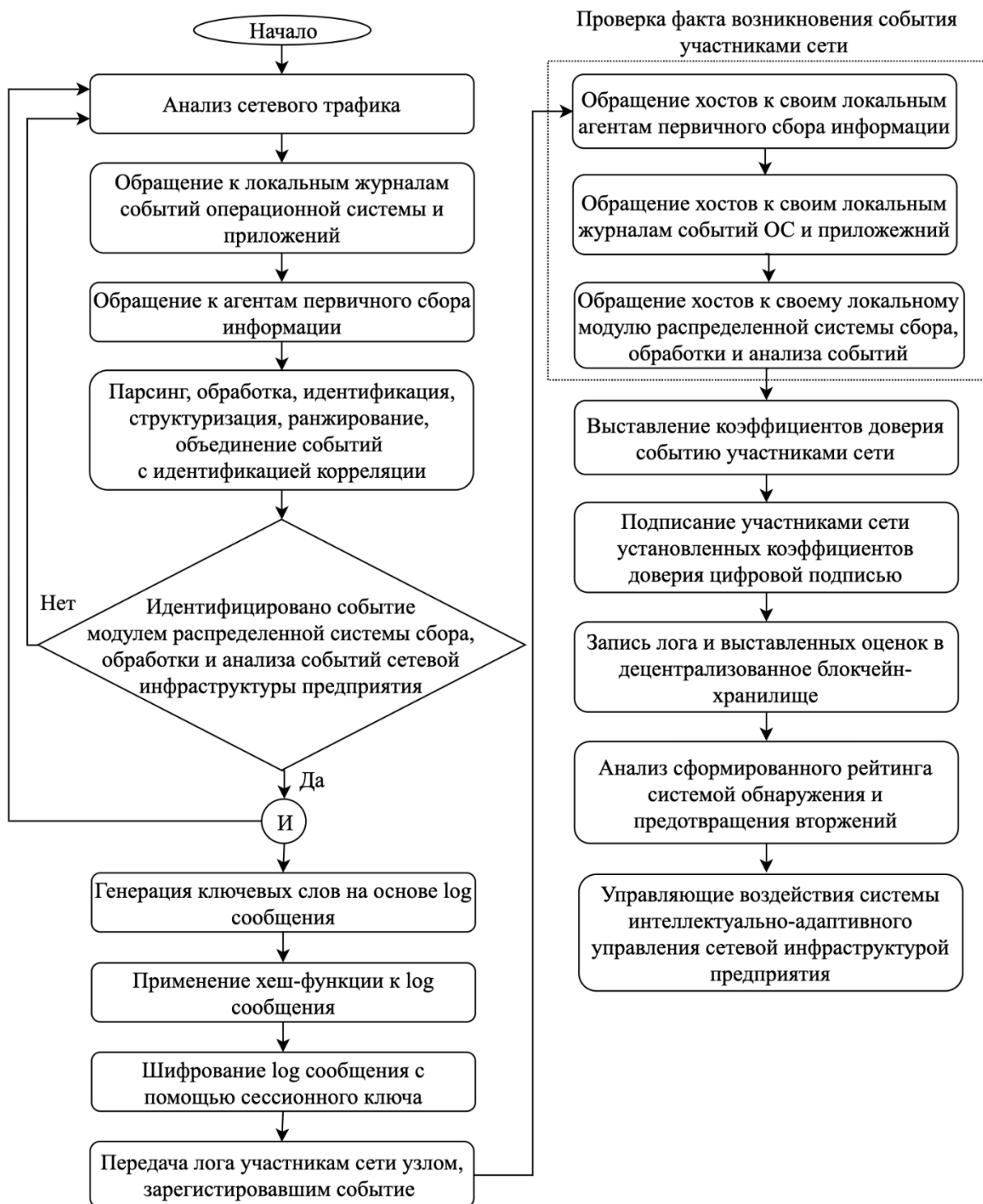


Рис. 2. Блок-схема предлагаемого метода: штатный режим работы

После успешного завершения процесса подключения узла к Системе выполняется переход к штатному функционированию, детально описанному на рис. 2.

Действия, предшествующие генерации и записи лога, а именно: анализ сетевого трафика, обращение к локальным журналам событий ОС и приложений, агентам первичного сбора данных, дальнейшая обработка и идентификация событий модулем авторской распределенной системы сбора, обработки и анализа событий сетевой инфраструктуры предприятия – выполняются непрерывно в фоновом режиме всеми хостами системы. После передачи лога участникам сети

описаны действия, входящие в одну итерацию проверки факта возникновения события каждым хостом. Запись информации в блокчейн-хранилище осуществляется по заранее выбранному формату хранения данных через панель администрирования Системы.

Разработанная система обнаружения и предотвращения вторжений функционирует на базе знаний и событий децентрализованного блокчейн-хранилища. Информативность анализа достигается благодаря использованию авторской распределенной системы сбора, обработки и анализа событий сетевой инфраструктуры предприятия. Объективность исследования обеспечивается путем задействования механизма выставления участниками сети коэффициентов доверия зарегистрированным событиям. Фильтрация трафика и управление информационными процессами осуществляются на основе проверенных фактов. Сигнатуры и паттерны функционирования системы защиты разрабатывались самостоятельно с использованием авторских методов противодействия сетевым угрозам и программы «Researcher» [7-8]. Далее будет рассмотрена программная реализация предлагаемого решения.

Программная реализация предлагаемого решения

Программное решение метода формирования децентрализованного реестра событий информационной инфраструктуры предприятия (являющегося логическим и прикладным развитием метода системного анализа, управления и обработки информации корпоративной вычислительной сети) представляет собой систему обнаружения, предотвращения вторжений и фальсификации реестра событий на основе децентрализованного подхода.

В рамках программной инженерии была произведена интеграция с авторской системой интеллектуально-адаптивного управления сетевой инфраструктурой предприятия (рис. 3), в том числе с ее компонентом - распределенной системой сбора, обработки и анализа событий. При этом ставилась задача организации взаимодействия Системы с другими процессами на локальном или удаленном хосте. Поскольку сведения, хранящиеся в децентрализованном реестре событий, представляют интерес в качестве входных данных для различных утилит и компонентов управления информационными потоками и процессами (в том числе системы обнаружения и предотвращения вторжений, реализованной на базе модифицированной платформы Bro), необходимо обеспечить возможность использования базы знаний сторонними программами. Для решения этой задачи предлагается использовать клиенты мониторинга и доступа.

Первая категория подключается к системе по аналогии со стандартными хостами через выработку сессионного ключа, однако не участвует в выработке коэффициентов доверия и, следовательно, в основной работе Системы. Клиенты мониторинга через механизм подписки уведомляют своих подписчиков о новых записях в блокчейне. Поскольку интерес представляют новые события, любая программа может подписаться на клиента мониторинга, указав, на какие типы событий она хочет получать уведомления.

Например, может быть осуществлена подписка только на атаки с использованием широковещательных запросов или на события, связанные с обнаружением недоступности определенных сервисов на хостах сети.

Важно отметить, что клиенты мониторинга не предоставляют механизмов чтения из блокчейна, это сделано целенаправленно, так как обеспечение уровня информационной безопасности к клиентам мониторинга осуществляется системным администратором и не может быть гарантированно проконтролировано Системой.

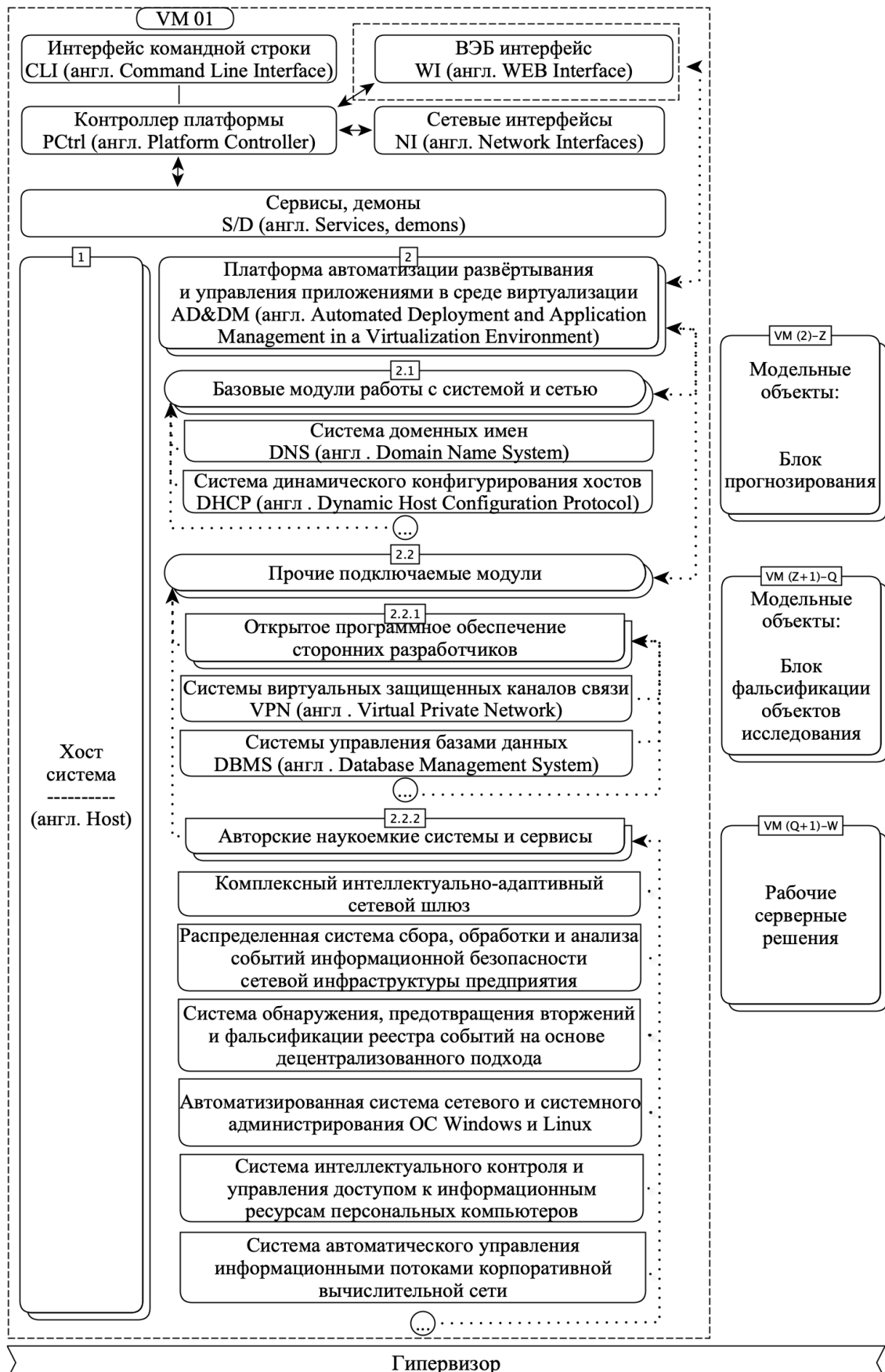


Рис. 3. Архитектура системы интеллектуально-адаптивного управления сетевой инфраструктурой предприятия

В случае ненадлежащей настройки доступ к клиентам мониторинга может быть получен недоверенным пользователем с последующим осуществлением лишь подписки. Не зная архитектуры сети предприятия и адреса размещения сервисов, злоумышленнику будет сложно осуществить первичный сбор данных для осуществления целенаправленной атаки. Штатные системные администраторы, которые владеют информацией об архитектуре сети и расположении сервисов, смогут просто настроить подписки для уведомления об обнаруженных и проверенных инцидентах.

Стоит отметить, что это единственная составляющая архитектуры проекта, через которую может быть осуществлен вывод информации с однослойным шифрованием точка-точка. При использовании клиентов мониторинга и клиентов доступа существует риск утечки информации, поэтому их использование в сети должно быть обосновано.

Несмотря на то, что клиенты мониторинга участвуют в генерации сессионного ключа, и, следовательно, получают доступ к информации для записи в блокчейн, они не могут получить доступ к обмену информацией между хостами, используя личные сообщения на основе опубликованных сертификатов публичного ключа. После выработки сессионного ключа по алгоритму Диффи–Хеллмана для неограниченного количества участников, клиенты мониторинга не генерируют приватный и публичный ключи и не публикуют свой сертификат открытого ключа. Таким образом, с ними не может быть произведен обмен информацией. Поскольку клиенты мониторинга не имеют публичного ключа, они не могут сохранить сессионный в блокчейне, в этом случае каждый из клиентов мониторинга имеет доступ только к текущей сессии.

Таким образом, клиенты мониторинга становятся участниками, осуществляющими только чтение из децентрализованного реестра событий без возможности сетевого взаимодействия с другими участниками Системы. В совокупности с использованием системы подписки на события вместо осуществления доступа на чтение из блокчейна можно сделать предположение, что использование клиентов не вводит критических уязвимостей в Систему.

В дополнении к клиентам мониторинга, осуществляющим доставку сообщения о событиях на основе модели подписчика, существуют клиенты доступа (провайдеры). Принципиально они отличаются от первой категории двумя аспектами:

- 1) генерируется приватный и публичный ключ, публикуется сгенерированный сертификат публичного ключа;
- 2) осуществляется чтение из блокчейн-хранилища и передача информации из базы сторонним программам с однослойным шифрованием точка-точка.

Присутствие у клиентов доступа ключей дает им возможность расшифровать информацию, хранящуюся в блокчейне на всем интервале времени их присутствия. Это свойство позволяет использовать их как драйвер для чтения из зашифрованного блокчейн хранилища и создания базы знаний систем предотвращения вторжений.

Для проверки работоспособности программного продукта выполнялось органическое и автоматизированное тестирование на всех этапах разработки, производился технический контроль проекта. На текущий момент продолжается экспериментальное исследование работы предложенного решения в сетевых инфраструктурах пяти предприятий с количеством хостов более 700. За шесть месяцев непрерывной работы Система зарекомендовала себя надежным, отказоустойчивым и безопасным решением. Размер базы данных распределенной системы сбора, обработки и анализа событий сетевой инфраструктуры предприятия составил от 1,25 до 14,3 % суммарного объема штатных баз знаний агентов первичного сбора информации различных систем и сервисов. Размер записей одного хоста в децентрализованное хранилище с учетом многослойного шифрования составлял 4 – 41,7 % от суммарного объема баз знаний локальных агрегаторов. Даже при дублировании всех перечисленных баз знаний введение избыточности является низкой стоимостью повышения надежности, безопасности и эффективности функционирования сетевой инфраструктуры предприятия.

Необходимо упомянуть, что типовые хосты фактически имеют незначительный объем локальных хранилищ (исчисляются десятками Мбайт за год работы среднестатистического офисного работника или домашнего пользователя). Однако в качестве недостатков проекта следует отметить требования к вычислительным мощностям (необходима материнская плата с многоядерным процессором и аппаратной поддержкой алгоритма шифрования AES, оперативной памятью от 2 Гб и поддержкой технологии коррекции ошибок), а также объему носителей информации.

Обсуждение результатов и заключение

В рамках данного проекта был разработан, программно реализован и исследован метод формирования децентрализованного реестра событий информационной инфраструктуры предприятия. Научная новизна предлагаемого решения заключается в автоматическом управлении локальными и сетевыми информационными процессами технических объектов на основе данных децентрализованного блокчейн-хранилища с системой управления доверием к регистрируемым событиям. Принятие решений осуществляется на основе объективной и подтвержденной информации. Другим немаловажным аспектом научной новизны выступают профилирование доступа к информации и защита процесса передачи данных на основе группового, а также итерационного многослойного шифрования.

Программная реализация метода выполнена в виде системы обнаружения, предотвращения вторжений и фальсификации реестра событий на основе децентрализованного подхода. Была реализована интеграция с авторской системой интеллектуально-адаптивного управления сетевой инфраструктурой предприятия, в том числе с ее компонентом - распределенной системой сбора, обработки и анализа событий.

При этом важно отметить, что проект может выступать независимым продуктом. В частности, и модифицированное децентрализованное блокчейн-хранилище с системой управления доверием к регистрируемым событиям может составлять информативную и объективную базу знаний любой локальной или сетевой технической системы. При этом лишается актуальности проблематика доверия к журналам событий и нивелируются нештатные внешние и внутренние возмущения с имперсонацией, модификацией и фальсификацией данных.

Представленный подход имеет несколько особенностей:

1) избыточность на локальном хосте: несмотря на оптимизацию реестра событий и его емкость, Система не удаляет информацию с локальных агентов, оставляя ее в качестве дополнительного слоя проверки;

2) избыточность на всех объектах сетевого взаимодействия: реестры событий дублируются на всех хостах, что преднамеренно вводит избыточность и требует от узлов дополнительного свободного пространства на носителях информации. В рамках проекта данный прием выступает инструментом независимого информационного контроля;

3) существуют ограничения на скорость записей в реестр. В зависимости от сложности проверки вероятности события в системе, скорость записи в цепочку может меняться. Также стоит учитывать требования к вычислительным мощностям объекта для осуществления шифрования и дешифрования данных. Балансировка может быть произведена правильным выбором соответствующего формата хранения данных. Настройка параметров осуществляется через веб-панель администрирования при первичной установке.

Описанные моменты не являются существенными недостатками, а лишь выступают критериями настройки системы при интеграции в сетевую инфраструктуру предприятия и могут потребовать замену устаревшего управляемого сетевого оборудования на современную платформу x86 с процессором, поддерживающим аппаратное шифрование алгоритмом AES,

оперативной памятью от 2 Гб с поддержкой технологии коррекции ошибок, носителем информации от 500 Гб в зависимости от функционирующих сервисов и нагрузки конечной сетевой инфраструктуры предприятия.

Список литературы

1. Статья из 3 номера. Басыня Е.А. Децентрализованный подход к сбору и обработке данных информационной инфраструктуры предприятия / Е.А. Басыня, А.В. Сафронов // Вестник УРФО. Безопасность в информационной сфере. – 2019 - №3. – С. 52 -60.
2. Zitta T. Penetration Testing of Intrusion Detection and Prevention System in Low-Performance Embedded IoT Device / T. Zitta, M. Neruda, L. Vojtech, M. Matejkova and oth. // Proceedings of the 18th International Conference on Mechatronics - Mechatronika (ME). - Brno, Czech Republic. – 2018. – P. 1 – 5.
3. Сафонов М. Централизованное хранение журналов / Сафонов М. // Системный администратор. 2012. №. 5 (114). С. 28-33.
4. Пальчевский Е.В. Разработка системы логирования IP-адресов для анализа активности внешнего сетевого трафика / Е.В. Пальчевский, А.Р. Халиков // Материалы Международной научно-практической конференции «Достижения и перспективы современной науки». - Астана, Казахстан. 2017. С. 96–99.
5. Сосновская М.Ю. Разработка системы идентификации событий ИТ-инфраструктуры на основе разбора и анализа системных журналов // Вестник современных исследований. 2018. № 5.1 (20). С. 520–522.
6. Shaikh J.R. Blockchain based Confidentiality and Integrity Preserving Scheme for Enhancing E-commerce Security / J.R. Shaikh, G. Iliev // Proceedings of the IEEE Global Conference on Wireless Computing and Networking (GCWCN). - Lonavala, India. – 2018. - P. 155 –158.
7. Басыня Е. А. Распределенная система сбора, обработки и анализа событий информационной безопасности сетевой инфраструктуры предприятия / Безопасность информационных технологий. 2018. Т. 25. № 4. С. 43–52.
8. Французова, Г. А. Самоорганизующаяся система управления трафиком вычислительной сети: метод противодействия сетевым угрозам / Г.А. Французова, А.В. Гунько, Е.А. Басыня // Программная инженерия. – 2014. – № 3. – С. 16–20.

Е.А. Басыня¹, А.В. Сафронов²

¹«МИФИ» ұлттық зерттеу ядролық университеті, Мәскеу, Ресей

²Ақпараттық-коммуникациялық технологиялар ғылыми-зерттеу институты, Новосибирск, Ресей

Кәсіпорынның ақпараттық инфрақұрылымы оқиғаларының орталықтандырылмаған тізілімін қалыптастыру әдісі

Андатпа. Мақалада кәсіпорынның ақпараттық-коммуникациялық секторының деректерін жинауға, өңдеуге және талдауға қазіргі тәсілдердің мәселелері сипатталған. Оның объектілері мен жүйелеріне штаттан тыс ішкі және сыртқы әсерлердің қауіптері қарастырылады. Кәсіпорынның ақпараттық инфрақұрылымы оқиғаларының орталықтандырылмаған тізілімін қалыптастырудың өзіндік әдісі шолуға ұсынылады. Ұсынылған шешімнің ғылыми жаңалығы тіркелген оқиғаларға сенімді басқару жүйесі бар орталықтандырылмаған блокчейн қоймасы деректері негізінде техникалық объектілердің жергілікті және желілік ақпараттық процестерін автоматты түрде басқару болып табылады. Шешімдер қабылдау объективті және расталған ақпарат негізінде жүзеге асырылады. Ғылыми жаңалықтың аспектісі-ақпаратқа қол жеткізуді профильдеу және топтық,

сондай-ақ итерациялық көп қабатты шифрлау негізінде деректерді беру процесін қорғау. Мақала авторлардың кәсіпорынның ақпараттық инфрақұрылымының деректерін жинауға және өңдеуге орталықтандырылмаған көзқарас бойынша жұмыстың логикалық жалғасы болып табылады. Кәсіпорынның желілік инфрақұрылымын интеллектуалды-адаптивті басқару жүйесінің модулі ретінде интеграциялауға ұсынылған тәсіл негізінде оқиғаларды анықтау, басып кіруді болдырмау және оқиғалар тізілімін бұрмалау жүйесін әзірлеу, зерттеу қамтылған.

Кілт сөздер: оқиғалар тізілімі, журналдар, блокчейн-қойма, сенімді басқару жүйелері, жүйелік талдау, өңдеу, ақпараттық процестерді басқару.

Е.А. Basinya¹, A.V. Safronov²

¹*National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia*

²*Scientific Research Institute of Information and Communication Technologies, Novosibirsk, Russia*

The method of forming a decentralized register of events of the information infrastructure of the enterprise

Abstract. The article describes the problems of existing approaches to the collection, processing, and analysis of data from the information and communication sector of the enterprise. The article considers threats of abnormal internal and external influences on its objects and systems. The authors review an original method for forming a decentralized registry of the enterprise information infrastructure events. The scientific novelty of the proposed solution lies in the automatic management of local and network information processes of technical objects based on data from decentralized blockchain storage with a trust management system for recorded events. Decision-making is based on objective and verified information. Another aspect of innovation is the profiling of access to information and the protection of the data transfer process based on group as well as iterative multilayer encryption. The article is a logical continuation of the authors' work on a decentralized approach to the collection and processing of data from the enterprise information infrastructure. The article considers the development and research of the system for detecting, preventing intrusions, and falsifying the event register based on the proposed approach for integration as a module of the system of intelligent adaptive management of the enterprise network infrastructure.

Keywords: event registry, logs, blockchain storage, trust management systems, system analysis, processing, information processes management.

References

1. Статья из 3 номера. Басыня Е.А. Децентрализованный подход к сбору и обработке данных информационной инфраструктуры предприятия / Е.А. Басыня, А.В. Сафронов // Вестник УРФО. Безопасность в информационной сфере. – 2019 - №3. – С. 52 -60.
2. Zitta T. Penetration Testing of Intrusion Detection and Prevention System in Low-Performance Embedded IoT Device / T. Zitta, M. Neruda, L. Vojtech, M. Matejkova and oth. // Proceedings of the 18th International Conference on Mechatronics - Mechatronika (ME). - Brno, Czech Republic. – 2018. – P. 1 – 5.
3. Safonov M. Centralizovannoe hranenie zhurnalov [Centralized log storage] / Safonov M. // System Administrator. 2012. №. 5 (114). S. 28–33. (in Russian)
4. Pal'chevskij E.V. Razrabotka sistemy logirovaniya IP-adresov dlja analiza aktivnosti vneshnego setevogo trafika [Development of an IP address logging system for analyzing the activity of external network traffic] / E.V. Pal'chevskij, A.R. Halikov // International scientific-practical conference "Achievements and prospects of modern science." - Astana, Kazakhstan. 2017. С. 96–99. (in Russian)

5. Sosnovskaja M.J. Razrabotka sistemy identifikacii sobytij IT-infrastruktury na osnove razbora i analiza sistemnyh zhurnalov [Development of an IT infrastructure event identification system based on analysis and analysis of system logs] // Bulletin of modern research. 2018. № 5.1 (20). S. 520–522.
6. Shaikh J.R. Blockchain based Confidentiality and Integrity Preserving Scheme for Enhancing E-commerce Security / J.R. Shaikh, G. Iliev // Proceedings of the IEEE Global Conference on Wireless Computing and Networking (GCWCN). - Lonavala, India. – 2018. - P. 155–158.
7. Basinya E. A. Raspredelelnaja sistema sbora, obrabotki i analiza sobytij informacionnoj bezopasnosti setевой infrastruktury predpriyatija [Distributed system of collecting, processing and analysis of security information events of the enterprise network infrastructure] / IT Security. 2018. T. 25. № 4. S. 43–52. (in Russian)
8. Francuzova, G. A. Samoorganizujushhajasja sistema upravlenija trafikom vychislitel'noj seti: metod protivodejstvija setevym ugrozam [Self-organizing computer network traffic management system: a method to counteract network threats] / G.A. Francuzova, A.V. Gun'ko, E.A. Basinya // Software engineering. – 2014. – № 3. – S. 16–20. (in Russian)

Сведения об авторах:

Басыня Е.А. - кандидат технических наук, доцент Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Москва, Россия.

Сафронов А.В. - кандидат технических наук, технический директор Научно-исследовательского института информационно-коммуникационных технологий, Новосибирск, Россия.

Basinya E.A. - Ph.D., prof. in the National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia.

Safronov A.V. - Ph.D., technical director of the Research Institute of Information and Communication Technologies. 48 Deputatskaya Street, Novosibirsk, 630099, Russia.

Commissioning Test of Distributed fiber-optics sensors during foundation monitoring of the Abu Dhabi Plaza construction project in Nur-Sultan City

Abstract. Distributed fiber optic cable is in increasing demand in civil engineering, especially in the field of structural condition monitoring. The characteristics of fiber optic cable have attracted the interest of engineers and researchers in recent years. This paper describes an operational test of a distributed fiber optic cable to determine its effectiveness in detecting cracks in concrete. A distributed fiber optic cable with internal fixed points was installed in the foundation slab of a high-rise building parking lot. Strain measurements from the fiber optic sensing cable were acquired and recorded using a Brillouin time domain optical analyzer throughout the test. The main purpose of the pre-commissioning tests is to check the accuracy error of the measurements. The accuracy error at any point on the cable is defined as the standard deviation of the repeated measurement values. This will show the reliability of the measured strain when interpreting the results.

Keywords: fiber optic cable, basement slab, high-rise buildings, fiber-optic sensors, civil engineering.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-139-2-51-61

Introduction

Structural condition monitoring is increasingly being used in civil engineering as an effective means to improve facility safety and optimize the cost of operating and maintaining structures. The data obtained from monitoring is used to optimize the operation, maintenance, repair and replacement of the structure based on reliable and objective data. Detection of current damage can be used to detect deviations from design performance. Monitoring data can be integrated into structural management systems and improve decision quality by providing reliable and objective information. A distributed fiber optic sensor (DFOS) based on Brillouin backscattering technology has many attractive features such as small size, good structural compatibility, light weight, immunity to electromagnetic interference, etc. Traditional control sensors, such as load cells, often require a large amount of cabling to support them. The cost of cabling limits the suitability of traditional sensors for monitoring. However, a distributed fiber sensor is capable of measuring strain at every point along a standard optical cable, which means that an appropriately installed fiber can potentially replace many traditional point sensors. It is therefore widely accepted as a cost-effective structural monitoring tool.

Literature Review

SHM systems have been used in civil engineering since the early 1980s [1]. A literature review of SHM systems was first presented by Doebling et al. in 1996, summarizing hundreds of publications through 1995. The interest in the ability to monitor a structure and detect damage at the earliest possible stage is pervasive throughout the civil engineering communities. Current damage-detection methods are either visual or localized experimental methods such as acoustic or ultrasonic methods, magnet field

methods, radiographs, eddy-current methods and thermal field methods. All of these experimental techniques require that the vicinity of the damage is known a priori and that the portion of the structure being inspected is readily accessible. Subjected to these limitations, 2 of these experimental methods can detect damage on or near the surface of the structure. The need for additional global damage detection methods that can be applied to complex structures has led to the development of methods that examine changes in the vibration characteristics of the structure [2]. Damage or fault detection, as determined by changes in the dynamic properties or response of structures, is a subject that has received considerable attention in the literature. The basic idea is that modal parameters (notably frequencies, mode shapes, and modal damping) are functions of the physical properties of the structure (mass, damping, and stiffness). Therefore, changes in the physical properties will cause changes in the modal properties. Ideally, a robust damage detection scheme will be able to identify that damage has occurred at a very early stage, locate the damage within the sensor resolution being used, provide some estimate of the severity of the damage, and predict the remaining useful life of the structure.

The effects of damage on a structure can be classified as linear or nonlinear. A linear damage situation is defined as the case when the initially linear-elastic structure remains linear-elastic after damage. The changes in modal properties are a result of changes in the geometry and/or the material properties of the structure, but the structural response can still be modeled using a linear equation of motion. Nonlinear damage is defined as the case when the initially linear-elastic structure behaves in a nonlinear manner after the damage has been introduced. One example of nonlinear damage is the formation of a fatigue crack that subsequently opens and closes under the normal operating vibration environment. Other examples include loose connections that rattle and nonlinear material behavior. A robust damage-detection method will be applicable to both of these general types of damage. The majority of the papers summarized in this review address only the problem of linear damage detection. They proposed the Classification table for damage identification methods, which is a compendium that classifies various methods of damage identification and model updating in chronological order [2].

Sensors and equipment. Combined deformation and temperature sensors DiTeSt SMART profile are designed for distributed deformation (average deformation) and temperature monitoring over long distances using BOTDA (Brillouin scattering) technology.

The DiTeSt SMARTprofile sensor consists of two bonded and two free single-mode optical fibers embedded in a polyethylene thermoplastic profile. The stapled fibers are used for strain monitoring, while the free fibers are used for temperature measurement (quantitative measurement if the strain sensor is $<0.2\%$, qualitative if the strain is $>0.2\%$) and to compensate for temperature effects on the stapled fibers. For redundancy, two fibers are included for strain and temperature monitoring. The profile itself provides good mechanical, chemical and temperature resistance.

The small profile size makes the sensor easy to transport and install by embedding in concrete or mortar, bonding or clamping.

The SMARTProfile sensor is designed for use in environmental conditions commonly found in civil, geotechnical and oil and gas applications. However, this sensor should not be used in extreme temperature environments or environments with corrosive chemicals. It is not recommended for installation under constant ultraviolet radiation (e.g. sunlight) without an additional cover or protection with aluminum tape.

The SMARTprofile sensing cable is supplied on reels with all necessary accessories such as terminations and connectors.

Optical Time Domain Analysis (BOTDA). The principle of the BOTDA sensor system is shown in Figure 1 and a typical BOTDA analyzer is shown in Figure 2. BOTDA technology is a proven, reliable system for determining load distribution along the pile shaft and pile toe. Light waves traveling through

the fiber optic cable react with the glass material in the fiber. The reaction causes a change in density as well as a change in frequency, i.e., a Brillouin frequency shift. By resolving the frequency shift and time propagation, a continuous total strain profile can be determined [3].

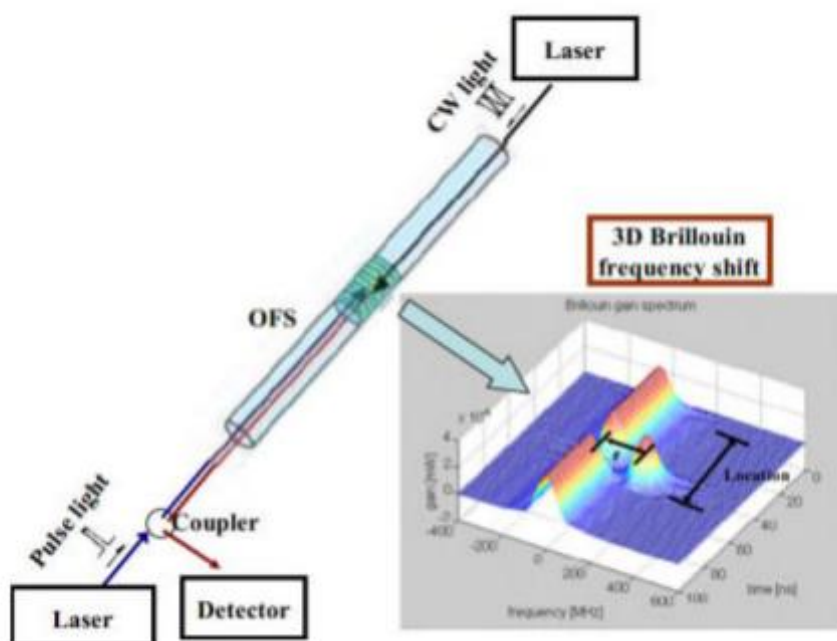


Figure 1 - Principle of BOTDA sensor system [4]

The main advantages of fiber optic sensors are the use of natural glass, which is immune to electromagnetic interference, resistant to corrosion and inert to chemical reactions. Fiber optic sensors are very versatile and can be used safely in many harsh environments such as high voltage, marine or explosive environments. In addition, DFOS cables are thin and therefore make it easy to install on the reinforcement cage without disturbing the concreting process. DFOS cables embedded in concrete piles are durable and can be measured for many years. Consequently, DFOS is also very suitable for long-term monitoring. Finally, compared to conventional sensors, DFOS provides a continuous measurement of deformation along the pile rather than discrete measurements at a few specific points.

The analyzer measures strain by transmitting pulses of light along the fiber and analyzing the frequency spectrum of the backscattered light. The optical budget of the analyzer can be increased by increasing the pulse duration, measured in nanoseconds, which reduces its attenuation. However, if the pulse duration is too long, the scattered light from the leading edge of the pulse begins to interfere with the scattered light from the trailing edge of the pulse, and the analyzer cannot distinguish one from the other. This imposes a limit on the minimum distance at which the strain value can be interpreted by the analyzer. This distance is called the spatial resolution and can be likened to the width of the averaging window for the sample point [2-3].

Spatial resolution up to 2 cm is achievable by some analyzers on the market, but because of the trade-off between optical budget and spatial resolution, this comes at the expense of the optical budget, which is only about 2 dB at this low spatial resolution. To achieve the required optical budget of 11 dB the spatial resolution is typically at least 0.5 m.

Although the spatial resolution limits the minimum distance at which the strain value can be interpreted, the analyzer is still capable of taking multiple measurements at small intervals along with the fiber.

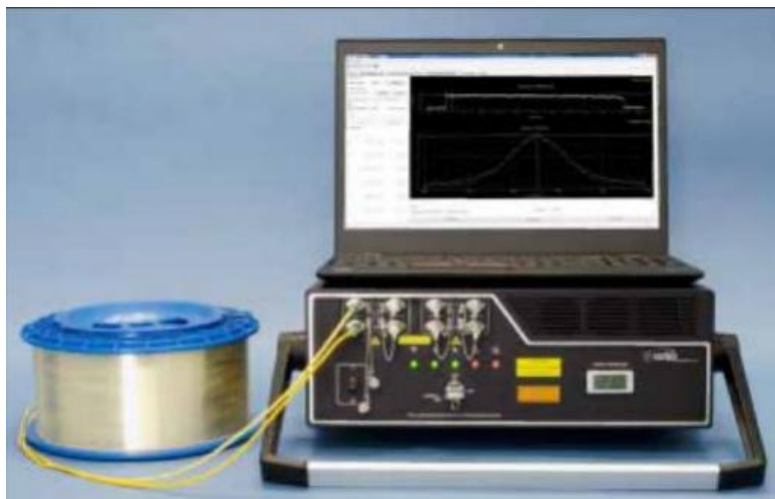


Figure 2 - A typical BOTDA analyzer

Installation Procedures. The fiber optic cable used for the bored pile is shown in Figure 3. The single strand single-model optical fiber is reinforced with multiple strands of steel wire and a polyethylene jacket. The fiber optic sensor is 0.125 mm in diameter with a 0.25 mm cable coating, and the total cable diameter is 5 mm. The glass core is firmly fastened together with the coating to allow full strain transfer from the coating to the inner glass strand.

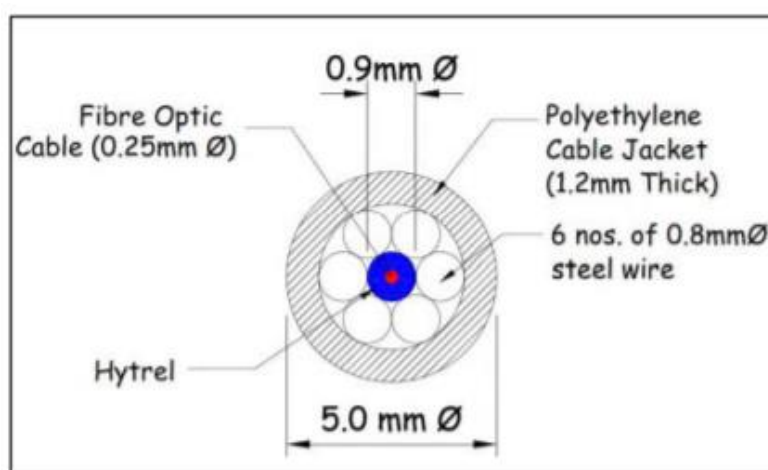


Figure 3 - Configuration of a strain-sensitive optical cable

It is necessary to prevent fiber fracture, since mounting the fiber under a hollow slab makes any fracture repair virtually uncorrectable. Fracture along a localized crack in the slab is prevented by fixing the fiber only at individual points, rather than attaching the fiber to the slab continuously along its entire path. The length of the unbound section between two adjacent attachment points is called the gauge length. Preventing overstretching depends on the fiber undergoing average surface deformation of the slab along the gauge length instead of experiencing maximum instead of maximum localized deformation near the crack [4].

A gauge length of two meters was considered sufficient to limit the average expansion-induced strain below the allowable strain limit.

An alternative to discrete fixation is continuous bonding of the fiber along its entire length, but it is necessary to allow adhesive bonding when the specified shear stress is exceeded. In practice, it is difficult to achieve consistent adhesive flow under site conditions and there is a risk of either inaccurate

deformation display if premature or fiber failure if output is delayed [5].

Test results. The main purpose of commissioning tests is to check the accuracy error of measurements at the construction site. Accuracy error at any point of the cable is defined as the standard deviation of repeated measurement values. This will show the reliability of the measured strain when interpreting the results.

Two tests were performed in which readings were recorded once at 15-minute intervals over three days for each test. At each measurement point, the standard deviation of the readings was determined and a graph was plotted as a function of the distance along the cable.

In the first test, the analyzer is constantly on, while in the second test, the analyzer is turned off after each reading. These two different tests are performed because one of the most important factors causing accuracy error is the thermal drift in the electronic components inside the analyzer.

Standard Deviation Graphs [6]

(A) Block R Vertical

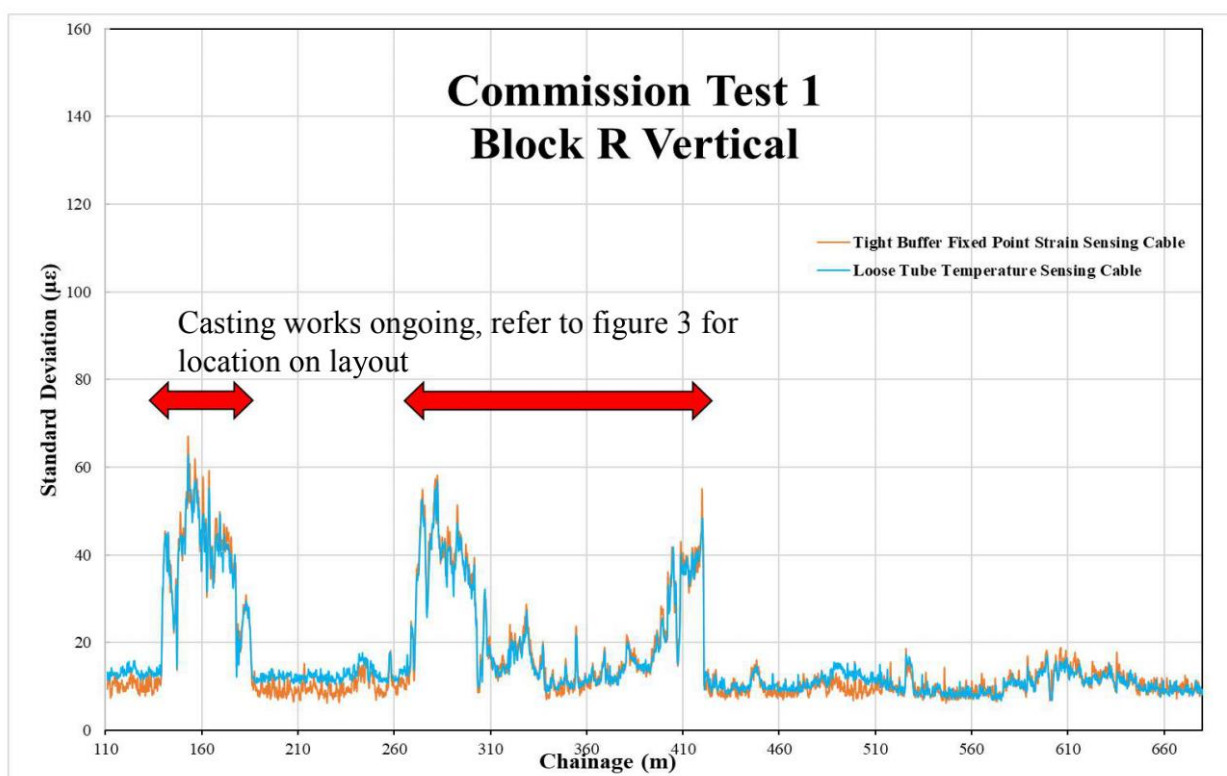


Figure 4: Commission test 1 standard deviation block R vertical

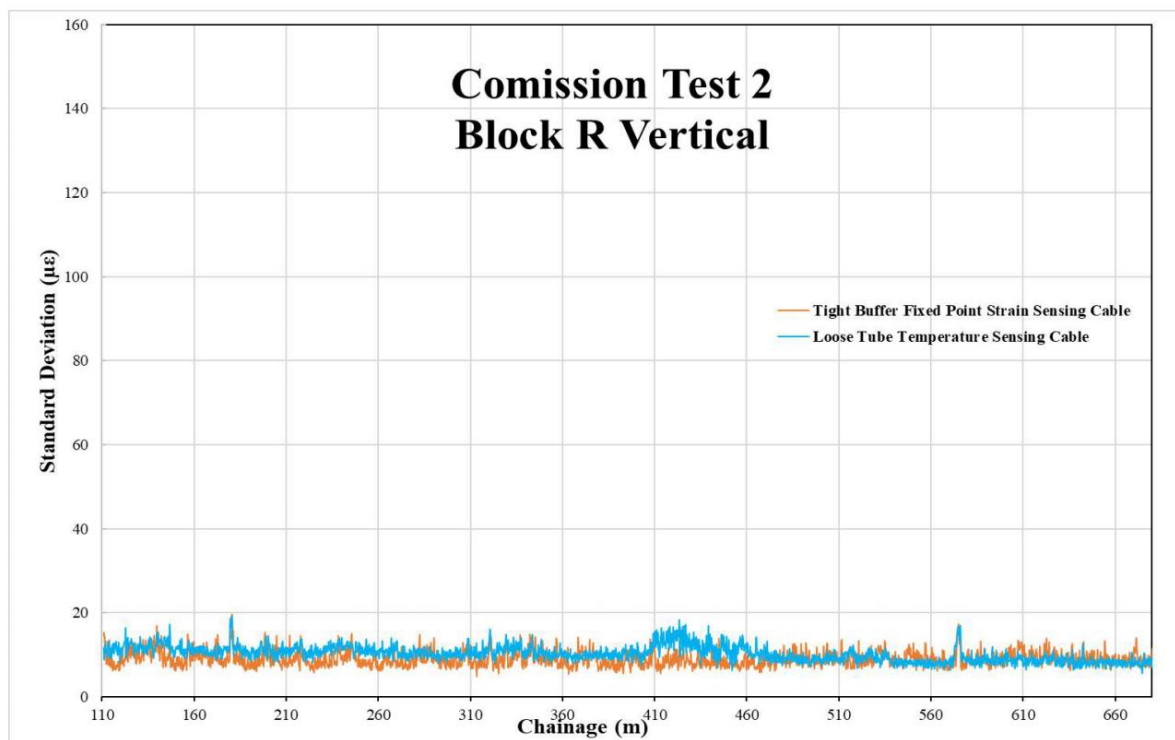


Figure 5: Commission test 2 standard deviation block R vertical

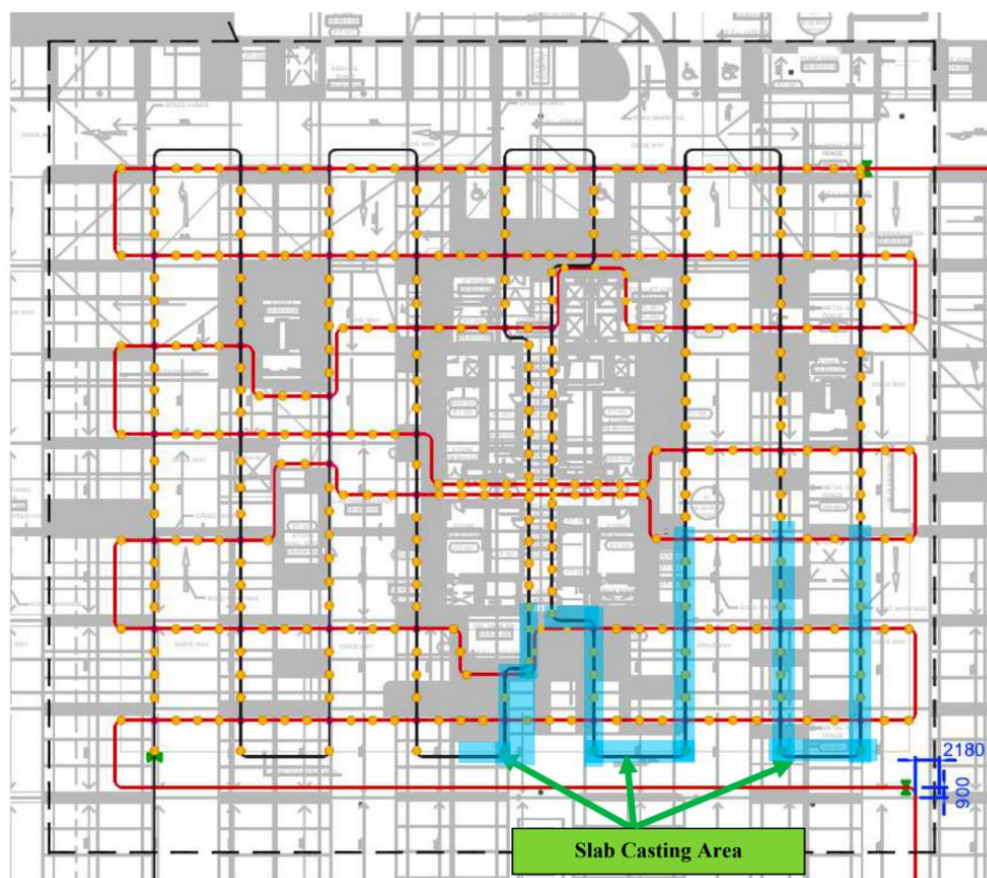


Figure 6: Slab casting works were ongoing at the above location in Block R during

commission test

(B) Block R Horizontal

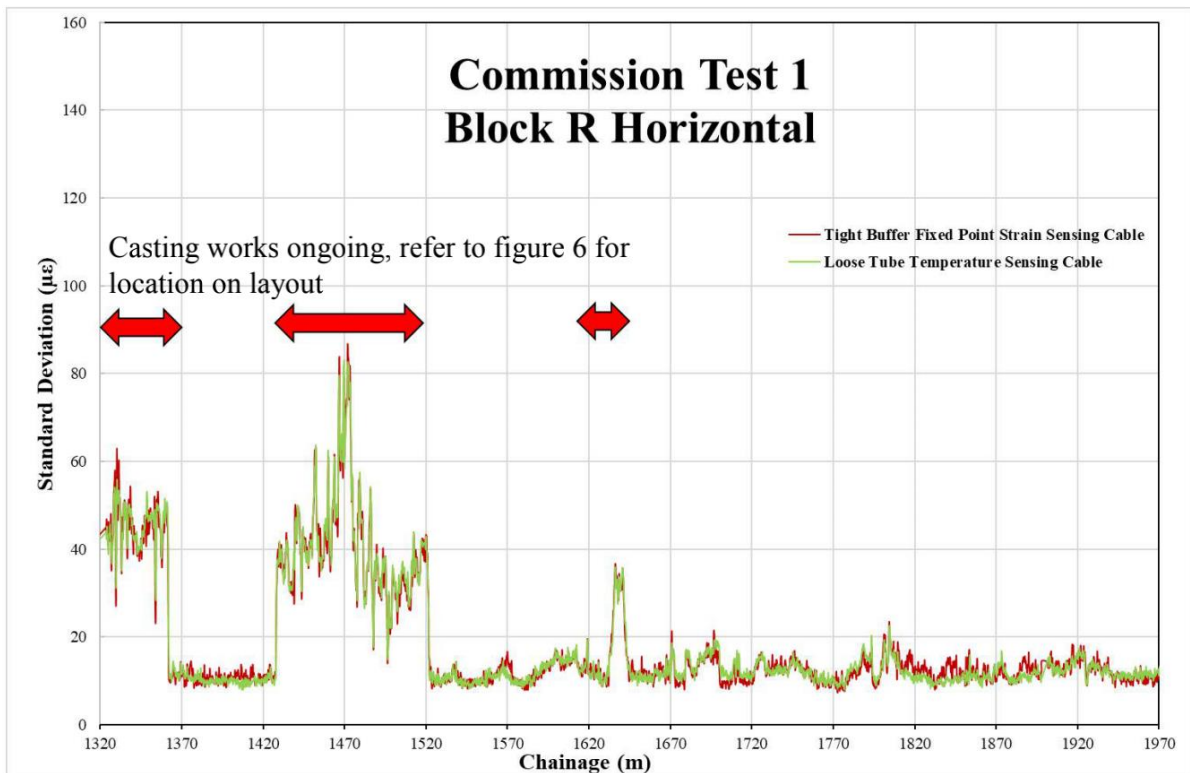


Figure 7: Commission test 1 standard deviation block R horizontal

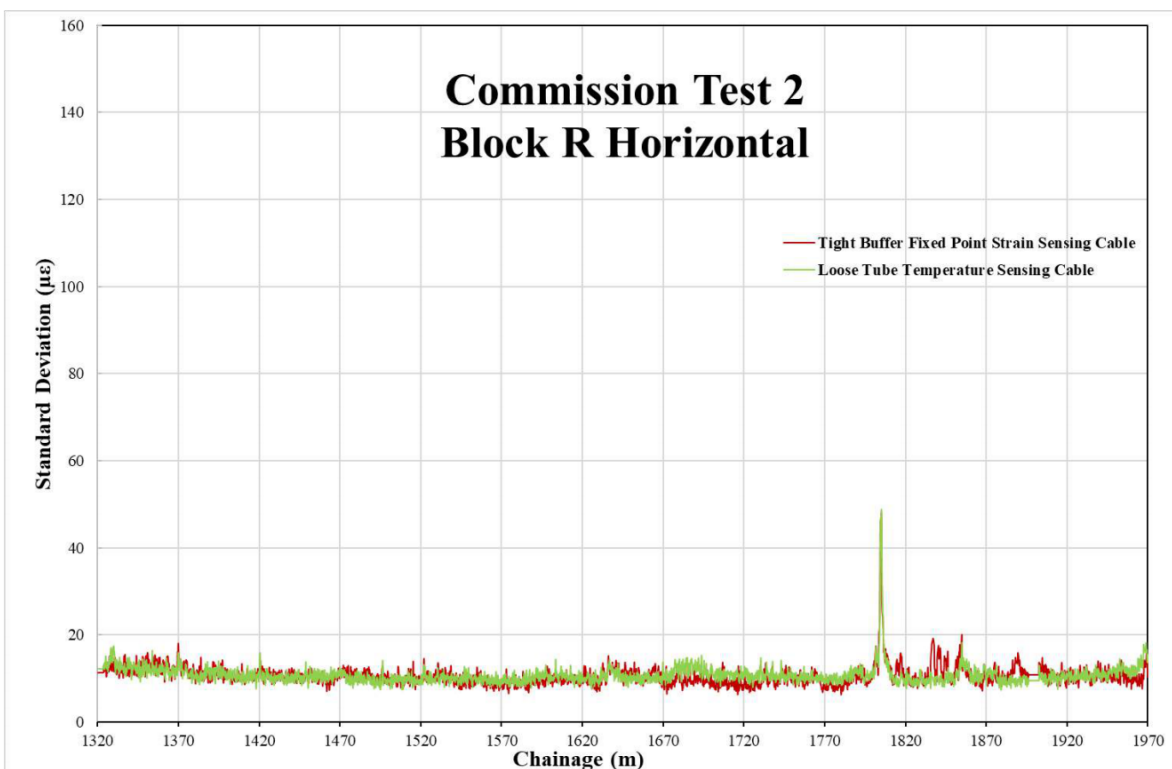


Figure 8: Commission test 2 standard deviation block R horizontal



Figure 9: Slab casting works were ongoing at the above location in Block R during commission test

Conclusion

The main objective of the commissioning test is to check the measurement precision error. The precision error at any point along the cable is defined as the standard deviation of repeated measurement values. This will indicate the reliability of the measured strain during interpretation of results. The primary objectives of the test are stated below:

No.	Descriptions	Remarks
1	Commissioning Test 1: - To take measurement at every 15 minutes for 3 days. - To keep analyzer continuously on. - To plot standard deviation with distance along the fibre optic cable.	Complied.
2	Commissioning Test 2: - To take measurement at every 15 minutes for 3 days. - To power off analyzer after each measurement. - To plot standard deviation with distance along the fibre optic cable.	Complied.

The commissioning test was successfully implemented and achieved all the primary objectives.

The commission test results were able to capture temperature changes caused by the curing of concrete during the testing as shown in Figures 4 to Figure 9. The temperature changes were significant at certain locations at Block R where the slab casting process was ongoing during the measurement time. Similar measurement trends between both temperature and strain sensing cables indicate that the strain changes were caused by a change in temperature rather than structural movement.

By comparing the standard deviation of the first and second test, the results have shown that both tests have a very similar magnitude of standard deviation except for those areas where there were significant temperature changes. Therefore, for the current analyzer used, the thermal shift in electronic components does not affect the precision error when the analyzer is powered off.

References

1. Moehle J P, 2007, "The Tall Building Initiative for Alternative Seismic Design" The Structural Design of Tall and Special Buildings, 16, 559-567
2. Doebling S W, Farrar C R, Prime M B and Shevitz D W (1996), Damage identification and health monitoring of structural and mechanical systems from changes in their vibration characteristics: A literature review, Los Alamos National Laboratory Report, LA-13070-MS.
3. Application of Distributed Fibre Optic Sensor (DFOS) in Bi-directional Static Pile Load Tests Lee Siew Cheng¹, Tee Bun Pin¹, Chong Mun Fai¹, Hisham Mohamad² and Ang Koh An³, Paulus P. Rahardjo⁴ 1Smart Sensing Technology Sdn. Bhd., Malaysia.
4. Lan, C.G.; Zhou, Z. and Ou, J.P. (2012) "Full-Scale Prestress Loss Monitoring of Damaged RC Structures Using Distributed Optical Fiber Sensing Technology". Sensor 2012, vol. 12, pp5380-5394.
5. Mohamad, H., Tee, B. P., Chong, M. F., & Ang, K. A. (2017) Investigation of shaft friction mechanisms of bored piles through distributed optical fibre strain sensing'. In 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.

6. Report of the Commissioning Test to fulfil the requirements as stated in Golder's report (ADP-135100-001), Section 3.12.2 - Item 4.

А.Буранбаева¹, А.Жүсүпбеков²

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

²Мәскеу мемлекеттік құрылыс университеті, Мәскеу, Ресей

Нұр-Сұлтан қаласындағы Абу-Даби Плаза құрылысы жобасының іргетасын бақылау кезінде таратылған талшықты-оптикалық сенсорлардың өнімділігін сынау

Аңдатпа. Таратылған талшықты-оптикалық кабель азаматтық құрылыста, әсіресе құрылымдық денсаулық мониторингі саласында сұраныс артып келеді. Талшықты-оптикалық кабельдің сипаттамалары соңғы жылдары инженерлер мен зерттеушілердің қызығушылығын тудырды. Мақалада бетондағы жарықтарды анықтаудағы тиімділігін анықтау үшін бөлінген талшықты-оптикалық кабельдің өнімділік сынағы сипатталады. Көпқабатты автотұрақтың іргетас тақтасына ішкі бекітілген нүктелері бар бөлінген талшықты-оптикалық кабель орнатылды. Талшықты-оптикалық датчик кабелінен кернеу өлшемдері сынақ барысында оптикалық Brillouin уақыт доменінің анализаторы арқылы алынды және жазылды. Іске қосу сынақтарының негізгі мақсаты өлшеу дәлдігінің қателігін тексеру болып табылады. Кабельдің кез келген нүктесіндегі дәлдік қателігі қайталанатын өлшемдердің стандартты ауытқуы ретінде анықталады. Нәтижелерді интерпретациялау кезінде өлшенген деформацияның сенімділігін көрсетеді.

Кілт сөздер: талшықты-оптикалық кабель, жертөле тақтасы, көпқабатты үйлер, талшықты-оптикалық сенсорлар, құрылыс инженериясы.

А.Буранбаева¹, А.Жусупбеков²

¹Евразийский национальный университет им.Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

²Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

Эксплуатационные испытания распределенных волоконно-оптических датчиков при мониторинге фундамента строительного проекта Abu Dhabi Plaza в городе Нур-Султан

Аннотация. Распределенный волоконно-оптический кабель пользуется все большим спросом в гражданском строительстве, особенно в области мониторинга состояния конструкций. Характеристики волоконно-оптического кабеля в последние годы привлекают интерес инженеров и исследователей. В данной статье описывается эксплуатационное испытание распределенного волоконно-оптического кабеля для определения его эффективности в обнаружении трещин в бетоне. Распределенный волоконно-оптический кабель с внутренними фиксированными точками был установлен в фундаментной плите парковки высотного здания. Измерения деформации от оптоволоконного чувствительного кабеля были получены и записаны с помощью оптического анализатора временной области Бриллюэна на протяжении всего испытания. Основной целью пуско-наладочных испытаний является проверка погрешности точности измерений. Погрешность точности в любой точке кабеля определяется как стандартное отклонение значений повторных измерений. Это покажет надежность измеренной деформации при интерпретации результатов.

Ключевые слова: волоконно-оптический кабель, подвальное перекрытие, высотные здания, волоконно-оптические датчики, гражданское строительство.

Information about authors:

Zhussupbekov A. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Consultant of Department of Soil Mechanics and Geotechnics of Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia.

Buranbayeva A. – PhD student of «Civil Engineering» department of Faculty of architecture and construction of L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Жүсүпбеков А.Ж. - профессор, техника ғылымдарының докторы, Мәскеу мемлекеттік құрылыс университетінің Топырақ механикасы және геотехника кафедрасының консультанты, Мәскеу, Ресей.

Буранбаева А.М. - Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті Сәулет және құрылыс факультетінің «Құрылыс» кафедрасының PhD докторанты, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Е.Б. Иманбаев¹, К.Т. Шеров^{2*}, Б.Т. Мардонов³, Л.Н. Махмудов³,
М.Т. Усербаев², И.С. Куанов²

¹Карагандинский технический университет им. А. Сагенова, Караганда, Казахстан

²Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан

³Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

E-mail: y.imanbayev@gmail.com, shkt1965@mail.ru, mbt69@mail.ru, lmn_76@mail.ru, usermur@mail.ru, isa_kuan@mail.ru

Экспериментальное исследование твердости наплавленной поверхности при различных способах термофрикционного фрезерования

Аннотация. В данной статье приводятся результаты исследования, направленного для решения проблемы обеспечения твердости наплавленных поверхностей после механической обработки. В качестве механической обработки предложены два способа термофрикционного фрезерования - традиционное термофрикционное фрезерование и термофрикционное фрезерование с импульсным охлаждением. Для проведения экспериментальных исследований выполнено планирование эксперимента и определено необходимое количество проводимых опытов. Для обработки были подготовлены специальные образцы с наплавленным слоем из наплавочного материала, который используется на производстве ТОО «Электровоз құрастыру зауыты» (г. Нур-Султан, Казахстан). Результаты экспериментальных исследований показали, что оба способа термофрикционного фрезерования обеспечивает повышение твердости наплавленной поверхности. Также изучено влияние режимов фрезерования на твердость обработанной поверхности. Установлены оптимальные значения режимов фрезерования, которые обеспечивают повышение исходной твердости обработанной поверхности.

Ключевые слова: термофрикционное фрезерование, импульсное охлаждение, твердость, наплавочный материал, изнашивание, ремонт

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-139-2-62-71

Введение

Анализ состояния ремонтного производства локомотивных и вагоностроительных производств показал, что существует проблема нарастающего износа деталей локомотивов и вагонов, особенно автосцепной части подвижного состава [1].

ТОО «Электровоз құрастыру зауыты» выпускает грузовые и пассажирские электровозы серий KZ8A и KZ4A, а также занимается ремонтом и восстановлением деталей и узлов подвижного состава. Одним из таких основных узлов, подвергающихся циклическому ремонту и восстановлению деталей, является автосцепное устройство подвижного состава.

В результате исследования технологии ремонта деталей автосцепного устройства было выявлено, что существует проблема обеспечения качества, связанная с механической обработкой и наплавкой изношенных поверхностей деталей. Не всегда удается сохранить исходную твердость наплавочного материала после наплавки или после механической обработки [2].

На рисунке 1 показана деталь «замок автосцепного устройства», который после наплавки подвергается механической обработке – торцовому фрезерованию.



а) – детали, подготовленные для наплавки; б) – детали с наплавкой

Рисунок 1 - Детали автосцепного устройства

Для наплавки изношенных поверхностей деталей автосцепного устройства применяется наплавочный материал (электрод) SURRADUR 400B. Твердость наплавочного материала (электрода) SURRADUR 400B составляет HB 320÷450.

Для повышения исходной твердости наплавочного материала после наплавки путем механической обработки предлагаются способы термофрикционной обработки – традиционное термофрикционное фрезерование и термофрикционное фрезерование с импульсным охлаждением.

Основная часть

Выбираем факторы матрицы планирования: x_1 – скорость вращения инструмента, об/мин, x_2 – подача, мм/мин, x_3 – глубина резания, мм, функцией отклика Y выбираем – твердость поверхности заготовки после обработки, мкм.

Количество опытов составит $N=2^3$. Модель построена в виде следующей зависимости:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3. \quad (1)$$

При планировании опыта для упрощения используют так называемые кодированные значения рассматриваемых факторов [3,4].

Уровни варьирования запишем упрощенным способом: верхний уровень соответствует +1, нижний - 1, а основной 0 (таблица 1).

Таблица 1 – Уровни варьирования

Уровни	x_1	x_2	x_3
Основной уровень x_{j0}	2500	375	3
Интервал варьирования I_j	500	175	2
Уровни	x_1	x_2	x_3
Нижний уровень -1	2000	200	1
Верхний уровень +1	3000	550	5

Условия проведения этого опыта зафиксируем матрицей планирования (таблица 2).

Таблица 2 – Матрица планирования

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	Y
1	+	+	+	+	Y_1
2	+	-	+	+	Y_2
3	+	+	-	+	Y_3
4	+	-	-	+	Y_4
5	+	+	+	-	Y_5
6	+	-	+	-	Y_6
7	+	+	-	-	Y_7
8	+	-	-	-	Y_8

Экспериментальное исследование твердости поверхности при различных способах термофрикционного фрезерования было проведено на лабораторной базе кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» Карагандинского технического университета имени А. Сагинова.

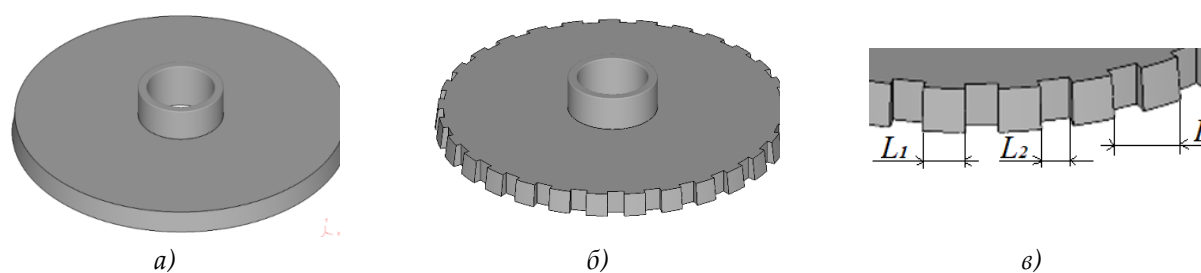
Для фрезерования были подготовлены образцы, наплавленные наплавочным материалом (электрод) SURRADUR 400B.

Для исследования процесса традиционного термофрикционного фрезерования с использованием гладкой фрезы трения были использованы следующие режимы фрезерования: $n_{\phi} = 1000 \div 3000$ об /мин; $S = 80 \div 300$ мм/мин; $t = 0,5 \div 2,5$ мм. Гладкая фреза трения $\varnothing 285$ мм.

Также для исследования процесса термофрикционного фрезерования с импульсным охлаждением с использованием фрезы трения с выемками были использованы следующие режимы фрезерования: $n_{\phi} = 1000 \div 3000$ об /мин; $S = 80 \div 300$ мм/мин; $t = 0,5 \div 2,5$ мм.

Фреза трения с геометрическими параметрами: $\varnothing 285$ мм; зона нагрева $L_1 = 26$ мм; зона охлаждения $L_2 = 6$ мм, соответственно шаг $L = 32$ мм. Геометрия фрезы трения была выбрана согласно рекомендациям [5,6].

На рисунке 2 показаны фрезы трения и геометрия фрезы трения с выемками.



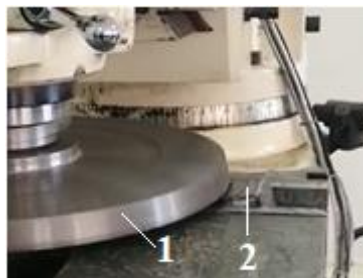
a – гладкая фреза трения; b – фреза трения с выемками; c – геометрия фрезы трения с выемками; L_1 –зона нагрева; L_2 – зона охлаждения; L – шаг зоны

Рисунок 2 – Фрезы трения и геометрия фрезы трения с выемками

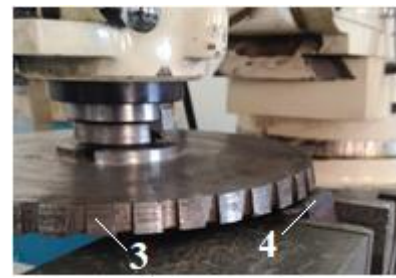
На рисунке 3 показан процесс обработки способами термофрикционного фрезерования.



а)



б)



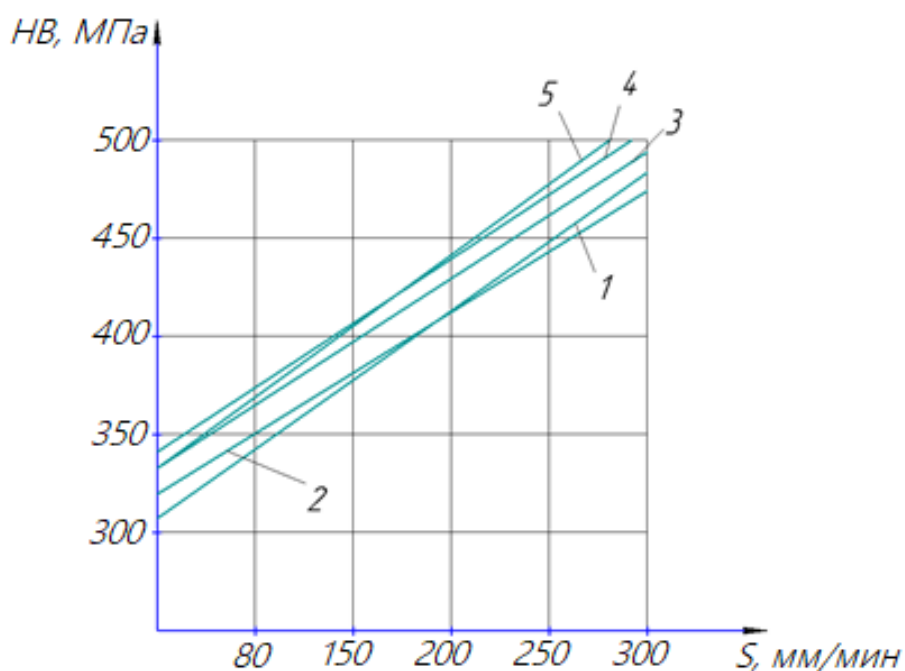
в)

а - вертикально-фрезерный станок модели JTM-1050 VSE JET; б - процесс фрезерования гладкой фрезой трения; в - процесс фрезерования фрезой трения с выемками; 1 -гладкая фреза трения; 2,4 - образец-заготовки; 3 - фреза трения с выемками

Рисунок 3 - Процессы обработки способами термофрикционного фрезерования

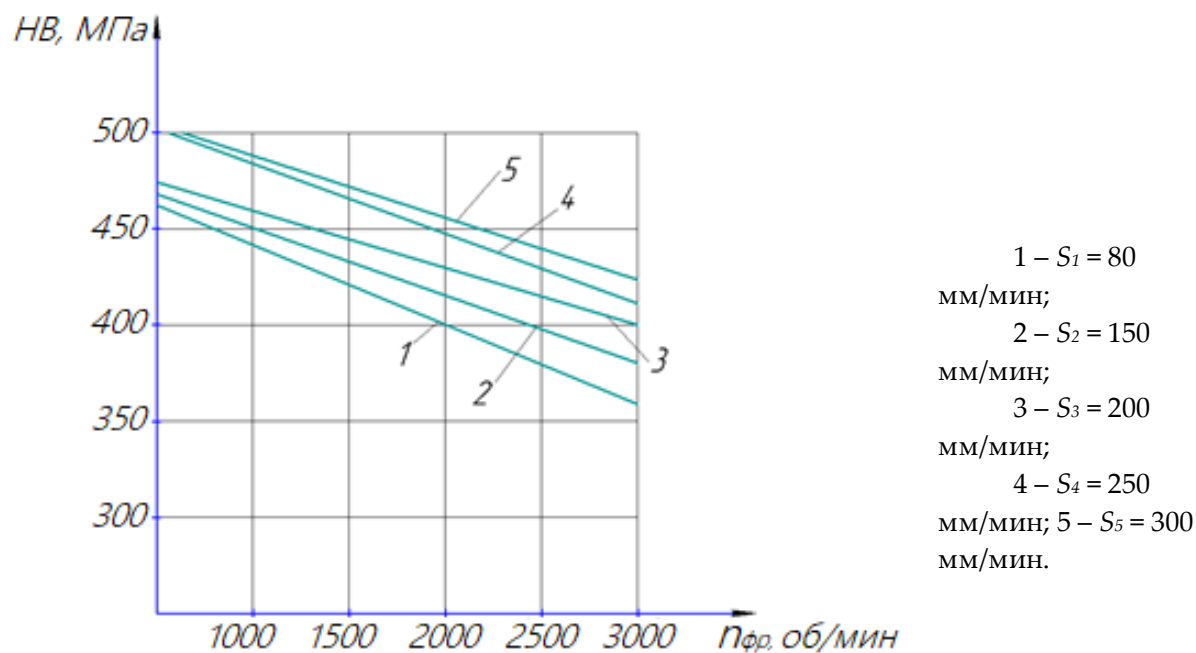
Экспериментально были исследованы влияния режимов фрезерования на твердость обработанной поверхности после наплавки.

На рисунке 4 показаны графики влияния режимов фрезерования гладкой фрезой трения на твердость обработанной поверхности после наплавки.



а)

- 1 - $t_1 = 0,5$ мм;
- 2 - $t_2 = 1,0$ мм;
- 3 - $t_3 = 1,5$ мм;
- 4 - $t_4 = 2,0$ мм;
- 5 - $t_5 = 2,5$ мм.

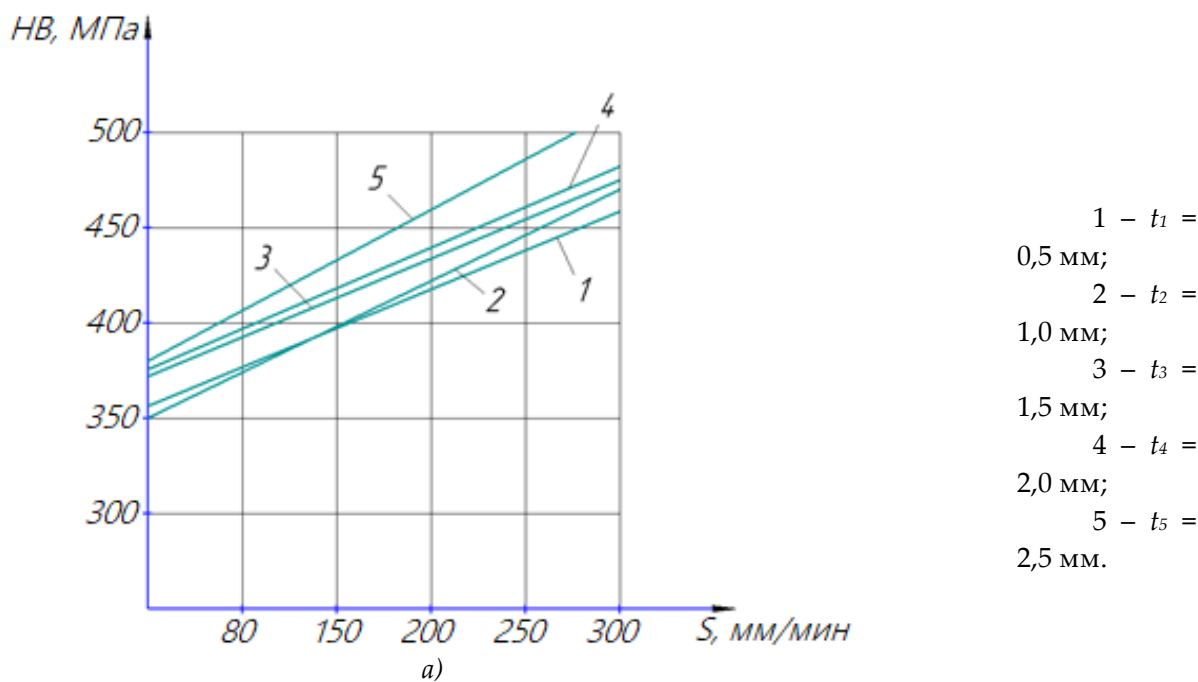


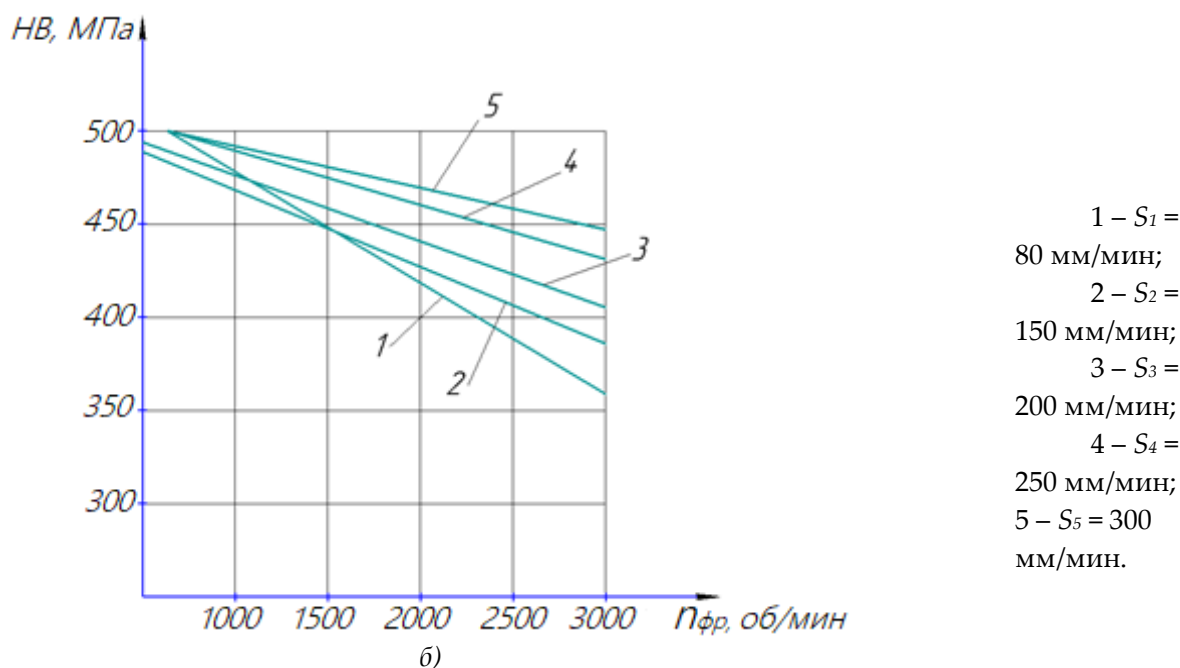
б)

а – влияние глубины резания при различных скоростях подачи на твердость; б – влияние подачи при различных скоростях резания на твердость

Рисунок 4 – Графики влияния режимов фрезерования гладкой фрезой трения на твердость

На рисунке 5 показаны графики влияния режимов фрезерования с импульсным охлаждением с использованием фрезы трения с выемками на твердость обработанной поверхности после наплавки.





a – влияние глубины резания при различных скоростях подачи на твердость; b – влияние подачи при различных скоростях резания на твердость

Рисунок 5 – Графики влияния режимов фрезерования с импульсным охлаждением с использованием фрезы трения с выемками на твердость

Обсуждение

При традиционном термофрикционном фрезеровании с использованием гладкой фрезы трения влияние глубины резания t и скорости подачи S носит монотонный характер (см. рис. 4а). С увеличением значения глубины резания t и скорости подачи S значение твердости обработанной поверхности после наплавки увеличивается. Оптимальными значениями глубины резания и скорости подачи выбираем $S = 300$ мм/мин и $t = 0,5$ мм. Из графика (см. рис. 4а) видно, что максимальные значения обоих режимов обеспечивают более высокую твердость обработанной поверхности после наплавки. Однако чрезмерное увеличение значения глубины резания нежелательно, так как это приводит к большому расходу наплавочного материала. Учитывая данные факторы, выбрали значение глубины резания $t = 0,5$ мм. При этом (см. рис. 4а, кривой 1) твердость обработанной поверхности составляет HВ480, что на $\approx 7\%$ (HВ30) больше, чем исходная твердость (HВ450) наплавленной поверхности.

А увеличение значения подачи S и скорости резания $n_{фр}$, наоборот, приводит к уменьшению твердости обработанной поверхности после наплавки (см. рис. 4б). При этом оптимальными будут максимальное значение подачи $S = 300$ мм/мин и минимальное значение скорости резания $n_{фр} = 1000$ об/мин. При этом так же твердость обработанной поверхности составляет HВ480 (см. рис. 4б, кривой 5).

Результаты термофрикционного фрезерования с импульсным охлаждением с использованием фрезы трения специальными выемками приведены на рисунке 5. Из графиков видно, что характер влияния режимов фрезерования такой же, как и при традиционном термофрикционном фрезеровании. Увеличение значения глубины резания t и скорости подачи S положительно сказываются на твердости обработанной поверхности после наплавки (см. рис. 5а). А увеличение значения подачи S и скорости резания $n_{фр}$ отрицательно влияют на значение

твердости обработанной поверхности после наплавки (см. рис. 5а). Выбираем оптимальные значения режимов фрезерования: $S = 300$ мм/мин; $t = 0,5$ мм; $n_{фр} = 1000$ об/мин.

Результаты показывают, что при режимах фрезерования $S = 300$ мм/мин и $t = 0,5$ мм (см. рис.5а, кривой 1) твердость обработанной поверхности составляет HB460, что на 1,0% (HB10) больше, чем исходная твердость (HB450) наплавленной поверхности. При режимах фрезерования $S = 300$ мм/мин и $n_{фр} = 1000$ об/мин твердость обработанной поверхности составляет HB480 (см. рис.5б, кривой 5), как и при традиционном термофрикционном фрезеровании (см. рис.4б, кривой 5).

В результате при обоих способах термофрикционного фрезерования наплавленной поверхности достигнуты положительные результаты по повышению его исходной твердости. Однако при традиционном термофрикционном фрезеровании с использованием гладкой фрезы трения достигнута более высокая твердость (HB480) обработанной поверхности.

Выводы

1. Для решения проблемы повышения исходной твердости наплавленных поверхностей деталей автосцепного устройства после механической обработки были предложены два способа термофрикционного фрезерования - традиционное термофрикционное фрезерование и термофрикционное фрезерование с импульсным охлаждением.

2. Результаты экспериментального исследования фрезерования наплавленных поверхностей образцов способами термофрикционного фрезерования показали положительные результаты при обоих способах обработки. Достигнуто повышение исходной твердости обработанной поверхности в пределах $1 \div 7$ %, что составляет соответственно $10 \div 60$ HB.

3. Установлено, что при обоих способах фрезерования увеличение значения глубины резания t и скорости подачи S положительно сказываются на твердости обработанной поверхности после наплавки, а увеличение значения подачи S и скорости резания $n_{фр}$ влияют отрицательно. С учетом обеспечения минимального расхода наплавочного материала для обоих способов фрезерования были выбраны следующие оптимальные режимы фрезерования: $S = 300$ мм/мин; $t = 0,5$ мм; $n_{фр} = 1000$ об/мин.

Список литературы

1. Иманбаев Е.Б., Шеров К.Т., Мардонов Б.Т. Исследование технологии ремонта и восстановления деталей автосцепного устройства подвижного состава // Труды международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №12), Часть 2. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2020. – С.324-326.
2. Иманбаев Е.Б., Шеров К.Т., Мардонов Б.Т. Исследование твердости наплавленных поверхностей деталей автосцепного устройства подвижного состава / Труды университета. – Караганда: Изд-во КарТУ, 2022.- №1(86)- С.5-10. DOI 10.52209/1609-1825_2022_1_5
3. Кадыров А.С., Кадырова И.А. Основы научных исследований. –Караганда: КарГТУ, 2015. – 279 с.
4. Реброва И.А. Планирование эксперимента: учеб. пос. – Омск: СибАДИ, 2010. – 105 с.
5. Айнабекова С.С., Шеров К.Т., Мусаев М.М., Габдысальк Р., Иманбаев Е.Б. Исследование и определение оптимальной геометрии дисковой пилы для термофрикционной отрезки малоуглеродистой стали / Вестник КазНУ. – Алматы: Изд-во КазНУ им. К. Сатпаева, 2020.- №5(141)- С.440-446.
6. Sherov, K.T., Ainabekova S.S. Tusupova S.O. [Sagitov](#) A.A. [Imanbaev](#) E.B. Thermofrictional

Cutting with Pulsed Cooling / Russian Engineering Research. Vol. 40, pp. 926–929 (2020).
<https://doi.org/10.3103/S1068798X20110179>

Е.Б. Иманбаев¹, К.Т. Шеров^{2*}, Б.Т. Мардонов³, Л.Н. Махмудов³,
М.Т. Усербаев², И.С. Куанов²

¹А. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

²С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

³Науайы мемлекеттік тау-кен және технологиялық университеті, Науайы, Өзбекстан

Термофрикционды фрезерлеудің әртүрлі әдістерімен өңдеу кезінде балқымаланған беттің қаттылығын тәжірибелік зерттеу

Андатпа. Мақалада өңдеуден кейін балқымаланған беттердің қаттылығын қамтамасыз ету мәселесін шешуге бағытталған зерттеу нәтижелері берілген. Механикалық өңдеу ретінде термофрикционды фрезерлеудің екі әдісі ұсынылады – дәстүрлі термофрикционды фрезерлеу және импульстік салқындатумен термофрикционды фрезерлеу.

Эксперименттік зерттеулер жүргізу үшін экспериментті жоспарлау жүргізілді және қажетті эксперименттер саны анықталды. Өңдеу үшін «Электровозкұрастыру зауыты» ЖШС (Нұр-Сұлтан, Қазақстан) өндірісінде қолданылатын жабын материалымен балқымаланған қабатқа ие арнайы үлгілер дайындады. Эксперименттік зерттеулердің нәтижелері термофрикционды фрезерлеудің екі әдісі де балқымаланған беттің қаттылығының жоғарылауын қамтамасыз ететінін көрсетті.

Фрезерлеу режимдерінің өңделген беттің қаттылығына әсері де зерттелді. Өңделген беттің бастапқы қаттылығын арттыруды қамтамасыз ететін фрезерлеу режимдерінің оңтайлы мәндері белгіленді.

Кілт сөздер: термофрикциондық фрезерлеу; импульстік салқындату; қаттылық; жабын материалы; тозу; жөндеу.

Е.В. Imanbaev¹, K.T. Sherov^{2*}, B.T. Mardonov³, L.N. Mahmudov³,
M.T. Ussebaev², I.S. Kuanov²

¹Karaganda Technical University named after A. Saginova, Karaganda, Kazakhstan

²S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, Kazakhstan

³Navoi State Mining and Technological University, Navoyi, Uzbekistan

Experimental study of the hardness of the deposited surface with various methods of thermofriction milling

Annotation. The article presents the results of a study aimed at solving the problem of ensuring the hardness of the deposited surfaces after machining. The authors propose two methods of thermofriction milling as mechanical processing such as traditional thermofriction milling and thermofriction milling with pulsed cooling. To conduct experimental studies, the authors determined the planning of the experiment was carried out and the required number of experiments.

For processing, special samples were prepared with a deposited layer of surfacing material, which is used in the production of Electric Locomotive Kurastyru Zauyty LLP (Nur-Sultan, Kazakhstan). The

results of experimental studies have shown that both methods of thermofriction milling provide an increase in the hardness of the deposited surface. The article investigates the influence of milling modes on the hardness of the machined surface. The optimal values of milling modes have been established, which provide an increase in the initial hardness of the machined surface.

Keywords: thermal friction milling; impulse cooling; hardness; surfacing material; wear; repair.

References

1. Imanbayev Ye.B., Sherov K.T., Mardonov B.T. Issledovaniye tekhnologii remonta i vosstanovleniya detaley avtostsepnogo ustroystva podvizhnogo sostava // Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Integratsiya nauki, obrazovaniya i proizvodstva – osnova realizatsii Plana natsii» (Saginovskiye chteniya №12), Chast' 2. – Karaganda: Izd-vo KarGTU, 2020. – S.324-326.
2. Imanbayev Ye.B., Sherov K.T., Mardonov B.T. Issledovaniye tverdosti naplavlennykh poverkhnostey detaley avtostsepnogo ustroystva podvizhnogo sostava / Trudy universiteta. – Karaganda: Izd-vo KarTU, 2022.- №1(86)- S.5-10. DOI 10.52209/1609-1825_2022_1_5
3. Kadyrov A.S., Kadyrova I.A. Osnovy nauchnykh issledovaniy. –Karaganda: KarGTU, 2015. – 279 s.
4. Rebrova I.A. Planirovaniye eksperimenta: ucheb. pos. – Omsk: SibADI, 2010. – 105 s.
5. Aynabekova S.S., Sherov K.T., Musayev M.M., Gabdysalyk R., Imanbayev Ye.B. Issledovaniye i opredeleniye optimal'noy geometrii diskovoy pily dlya termofriktsionnoy otrezki malouglerodistoy stali / Vestnik KazNITU. – Almaty: Izd-vo KazNITU im. K. Satpayeva, 2020.- №5(141)- S.440-446.
6. Sherov, K.T., Ainabekova S.S. Tusupova S.O. [Sagitov A.A.](#) [Imanbaev E.B.](#) Thermofrictional Cutting with Pulsed Cooling / Russian Engineering Research. Vol. 40, pp. 926–929 (2020). <https://doi.org/10.3103/S1068798X20110179>

Сведения об авторах:

Иманбаев Е.Б. – докторант кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» Карагандинского технического университета имени А. Сагинова, пр. Н. Назарбаева 56, Караганда, Казахстан.

Шеров К.Т. – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование» Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина, пр. Женис 62, Нур-Султан, Казахстан.

Мардонов Б.Т. - доктор технических наук, профессор, проректор Навоийского государственного горно-технологического университета, ул. Галаба Шох, 27, Навои, Узбекистан.

Махмудов Л.Н. – преподаватель кафедры «Технология машиностроения» Навоийского государственного горно-технологического университета, ул. Галаба Шох, 27, Навои, Узбекистан.

Усербаев М.Т. – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Технологические машины и оборудование» Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина, пр. Женис, 62, Нур-Султан, Казахстан.

Куанов И.С. - докторант кафедры «Технологические машины и оборудование» Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина, пр. Женис, 62, Нур-Султан, Казахстан.

Imanbaev E.B. - Ph.D. student of the Department of Technological equipment, mechanical engineering and standardization" of the Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, N. Nazarbayev Ave. 56, Kazakhstan.

Sherov K.T. - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Technological Machines and Equipment" of the Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin, Nur-Sultan, Zhenis Ave. 62, Kazakhstan.

Mardonov B.T. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector of the Navoi State Mining and Technology University, Navoi, Galaba Shoh 27, Uzbekistan.

Makhmudov L.N. – Lecturer at the Department of Engineering Technology of the Navoi State Mining and Technology University, Navoi, Galaba Shokh st. 27, Uzbekistan.

Usserbaev M.T. - Candidate of Technical Sciences, Head of the Department "Technological Machines and Equipment" of the Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin, Nur-Sultan, Zhenis Ave. 62, Kazakhstan.

Kuanov I.S. - doctoral student of the department "Technological machines and equipment" of the Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin, Nur-Sultan, Zhenis avenue 62, Kazakhstan.

M.E. Isametova¹, B.N. Absadykov^{1*}, B.B. Bazarbay¹, G.A. Smailova¹, S.A. Kalmaganbetov¹, N. Deshevsky²

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

²University of Chemistry and Metallurgy, Sofia, Bulgaria

E-mail: bauyrzhan_4@mail.ru

Computer modeling and verification of mechanical properties of metal-polymer composite materials used in the technological process of layer-by-layer growing of parts used in the technological process of layer-by-layer growing

Abstract. The article presents the results of computer modeling of the microstructure of a composite material consisting of a polyamide matrix and metal inclusions. The researched composition is one of the advanced trends in the production of materials for advanced MIM technologies. This paper describes the design of a new pressing device to produce composite rods. Computer modeling of mechanical properties of composite metal-polymer material was performed in the high-level CAD system DIGIMAT module MF. Micro-level modeling of the composite made it possible to establish the relationship between the percentage of inclusions and the upper yield strength of the material and the influence of the shape of the inclusions on the tensile strength of the designed material. The computational experiment results were verified with the results of the field experiment for the samples produced by the injection molding technology and the 3D printing technology.

Keywords: feedstock, MIM technology, 3D printing, injection molding, flow limit, material mechanical properties.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-139-2-72-85

Introduction

Identifies and defines two main technological development stages of mechanical engineering products and devices. These are: improving the quality of materials used for products and reducing the cost of the technological process of manufacturing products. To meet this requirement, for the development of materials and products, it is necessary to qualitatively strengthen production technologies and achieve the possibility of changing the composition of the material at the stage of product development. One of the main methods for developing the method of manufacturing products is the method of heating metal powders or powders of refractory materials by mixing them into the binding material (composite materials), changing its composition, condition, structure pressing them into a certain form. In the production of small-scale, complex-shaped products, one of the modern methods is considered to be the technology of filling composite materials by pressure [1, 2, 3, 4].

Currently, additive technologies are widely used in the production of products with complex geometric shapes, and their large-scale research. In the works [5, 6], a thread was made from a metal-polymer composite material (feedstock), that is, a thread. In addition, the product was developed by layer-by-layer pressing by the method of Fused Filament Fabrication (FFF) using the resulting filament, determining the mechanical characteristics of the filament, and researching the connections between the products. In many scientific studies, it was found that additive technologies using feedstock brand 316L, that is, the production of products on a 3D printer and the main parameters at the stage of printing on a 3D printer directly affect the quality of the product. In addition, studies [7] showed that the quality of the filament is relatively high compared to the Metal Injection Molding (MIM) method. The cost of filament

(for 316L stainless steel composite material) made by MIM technology is about 15-18 euros/kg, as well as BASF Ultra fuse, showed that in the manufacture of filament (for 316Lx) the cost is about 200 euros/kg. Moreover, the cost of filament from carriers or suppliers is 100 euros/kg. Currently, it is aimed at reducing the price of filaments and optimizing the printing parameter on a 3D printer, as well as analyzing the optimal compatibility of metal powder binders in the feedstock.

In the development of filament compositions for a 3D printer, BASF used 316LW steel feedstocks [8]. Many studies have shown that the percentage of powder Binder is in the ratio of 60% to 40%, and this percentage of feedstock contains 90% or more powders. If the material contains a high percentage of powder, this leads to a low instability index [13], and leads to a high viscosity during the melting period of feedstock [14]. In their research [9], the authors said that the quality of the filament can be determined by two main parameters, which are the limits of tensile and bending strength. The tensile parameter means that when the thread is fed to a 3D printer through an extruder, we mean the tensile break of the thread [10], and bending strength means that when the thread is fed, we estimate the elasticity of the thread [11]. Widely considered in the experiment, for example, in MIM technology, tests were carried out for the bending period of a filament made of 316LW feedstock material. In order to improve the elasticity of the filament, polyacetal (rum) and polyethylene (LDRE) polymers were mixed by heating at a temperature of 170 °C. With a higher percentage of binder, the elasticity of the filament improves. However, as the percentage of binders, i.e. polymers, increases, metal powders begin to decrease. This leads to the external and internal structure of the product during the cooking process, as well as incorrect unification of powders. It was found that the choice of POM, and LDPE polymers as binders with a certain percentage, affects the strength of the filament.

Taking into account the scientific research, we can conclude that for the MIM method with a rational complex, it is necessary to conduct experiments with composition materials and conduct research with additional calculations.

The main purpose of this scientific paper is computer modeling of microstructures of a material to determine the mechanical characteristics and additional parameters of metal polymer composite materials.

Research methods

A continuous reverse pressing device has been designed and developed to create a thread from a metal-polymer composite material. With this device, powder materials can be obtained by mixing them into a binder without breaking them to a certain length. There is a hopper, extruder, auger, burners, movable and immovable plates, press stamp, reverse press form, and hydraulic cylinders that load the material into the continuous reverse pressing device. As shown in figures 1 and 2 below, the extruder of this continuous reverse pressing device has three different burners, and along this extruder, the material is melted in stages at three different temperatures. It is kept in a specially designed container at a temperature of 120-150 °C, and the material is released by pressing with a press-stamp, giving a reverse pressure using a hydra cylinder, and through a hole in the center of the press-stamp [16].

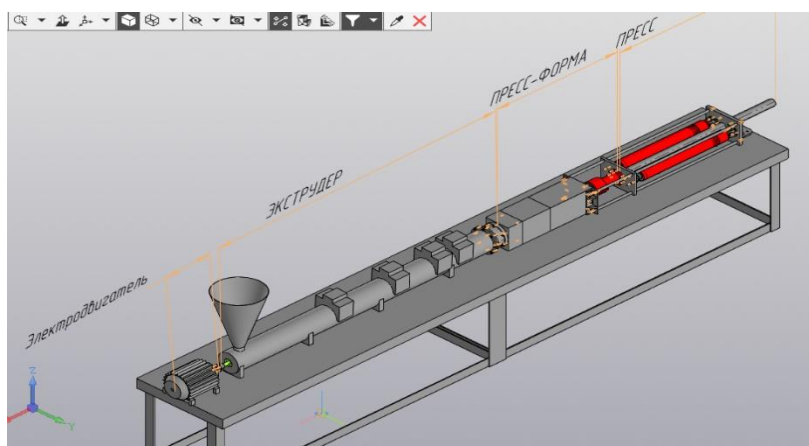


Figure 1. 3D model of the continuous reverse pressing device



Figure 2. The continuous reverse pressing device

The main factors affecting the physical and mechanical characteristics are, in particular, the presence of a single size of powders by the percentage volume of binders, and the interaction of the physicochemical process at the boundary of the binders phases. However, the most basic depends on the type of binder, i.e. polymer. Due to the increase in molecular weight, the hardness and strength of the metal polymer composite material increase. However, in this case, the physical and chemical characteristics are not determined, since it is considered a dispersed polymer composite material with high binding content.

Depending on the manufacturing technologies, various polymers are used, and there is very little information about their physical and mechanical characteristics [11].

In the process of performing calculations of the thermal conductivity property of a metal polymer composite material and as a dispersed capacity, as well as the calculation of physical and mechanical characteristics, it is possible to perform calculations by two different methods [12], which are carried out based on the Hashin-Strikman and Foigta-Reiss ratio. At the same time, there is a lack of practical value due to the wide range of possible values of two different micro-characteristics, and the only way to narrow the calculated "fork" is to show the relative location and geometry of The Shape of the phase zones that make up the metal-polymer composite. Such methods and approaches lead to individual computational analysis of material structures, under the influence of which a method of direct calculation of the mechanics of the medium of a metal-polymer composite material arises, which gives rise to the theory of averaging [13, 14, 15].

Such calculations are now widely developed in connection with the development of computer programs, such as MSC. Digimat and the program also include the structural foundations of materials. One of the most convenient programs for determining the nature of various composite materials is the DIGIMAT program.

The DIGIMAT program allows you to analyze the properties of materials and each phase, the volumetric mass composition of the material, as well as the microstructure of composite materials. In the MSC.Digimat program, the FE module should be selected for modeling, since it determines the microstructural properties of composite materials, and it is necessary to use the homogenization method to determine the reactions of materials at the macro level.

The main goal of these methods is to find an equivalent homogeneous (homogeneous) material that has the same effective characteristics at the macro level as a heterogeneous material at the micro-level. Indicators of parameters based on modeling are shown in Table 1.

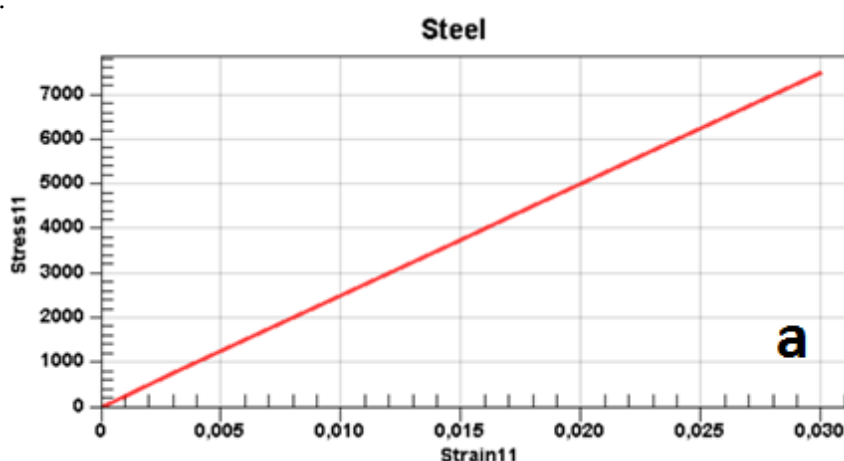
Basic information:

- mechanical characteristics of 38CrMA stainless steel
- mechanical characteristics of Catamold 42CrMo4
- the number of metal impurities
- the percentage of metal impurities

Table 1. Parameter indicators for the experiment

Parameters	Units of measure
Modulus of elasticity of polyamide, MPa	2700
The density of polyamide, kg/mm ³	$1,14 \cdot 10^{-9}$
Poisson's ratio of polyamide	0,37
Modulus of elasticity of steel, MPa	210000
Steel density, kg/mm ³	$7,8 \cdot 10^{-9}$
Poisson's ratio of steel	0,3
Particle size, mm	1

Figure 3 shows the stress-strain resistance curves of the composite matrix material developed in the DIGIMAT program.



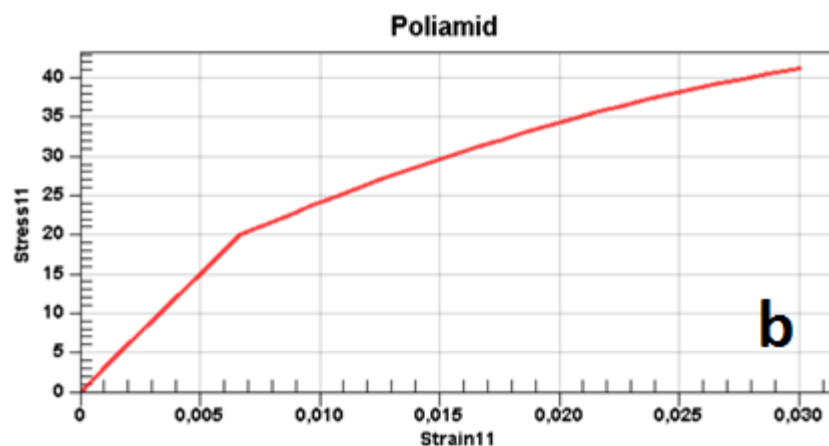
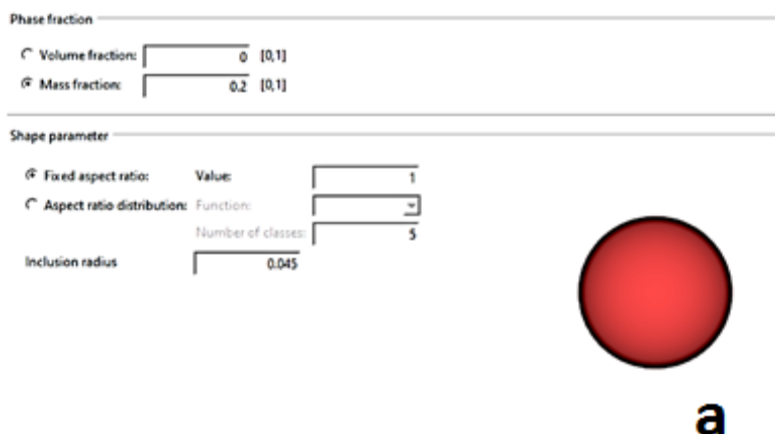


Figure 3. Stress-deflection diagram: a) Steel material; b) PA6-polyamide, which is the matrix in the composition.

Figure 3 shows the resistance curves generated in DIGIMAT for the deformation of the matrix material and inclusions. The next step in modeling the composite material is to create the microstructure. Using the option "Ratio coefficient", it is possible to vary the size of the inclusion particles, we chose "Ratio coefficient" equal to 25, so the particle size of metal inclusions is 1 mm. The option "Shape" allows us to change the shape of inclusions, we chose two shapes of inclusions elliptical and spheroidal. Since we had the task to compare the mechanical properties of the material with needle and spherical inclusions, by changing the parameters we simulated two kinds of particles, respectively after mechanical treatment (grinding in ball mills) and treatment by gas atomization. Figure 4 shows the simulated shapes of inclusions.



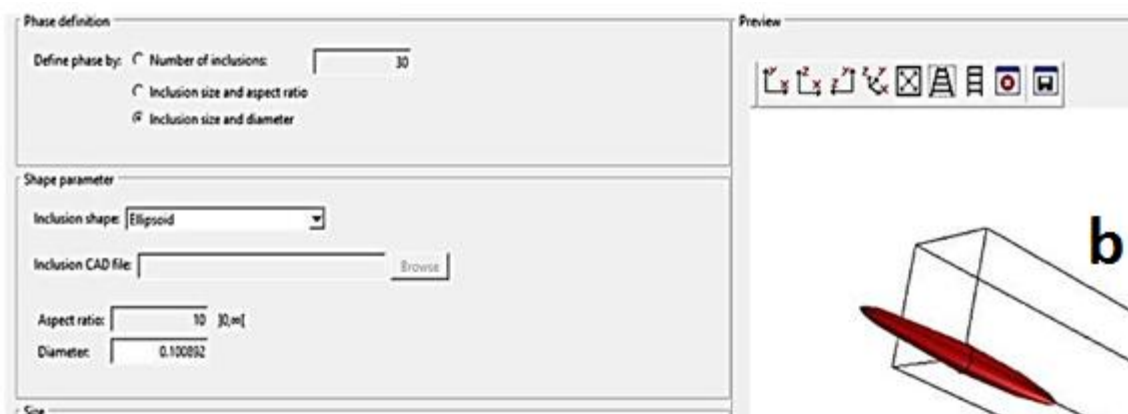


Figure 4. Parts modeled in the MSC.Digimat program:
a) Spherical shape; b) elliptical shape

Metal polymer composite is considered one of the main factors that have a direct impact on the mechanical properties of the material, and the orientation of the fibers in space. An indicator of this parameter is the orientation tensor T .

$$T = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

Where a_{ij} are the components of the orientation tensor corresponding to the direction of the direction along the x , y , and z axes.

For the model of a metal polymer composite, the orientation $a_{11} = 0.5, a_{22} = 0.5$ was chosen when reinforced with short elements and aimed at the isotropy of the projected material.

In the MSC.Digimat software information, a model of the material element Catamold 42CrMo4 metal polymer composite was developed.

For the article, we conducted a comparative study of the mechanical properties of a metal polymer composite material by steel powder and an analysis of its microstructure, including processing methods related to The Shape of the powders. In addition, the spherical shape of the steel powder (shown in figure 5. a) and the needle-shaped shape (shown in figure 5. b) were modeled.

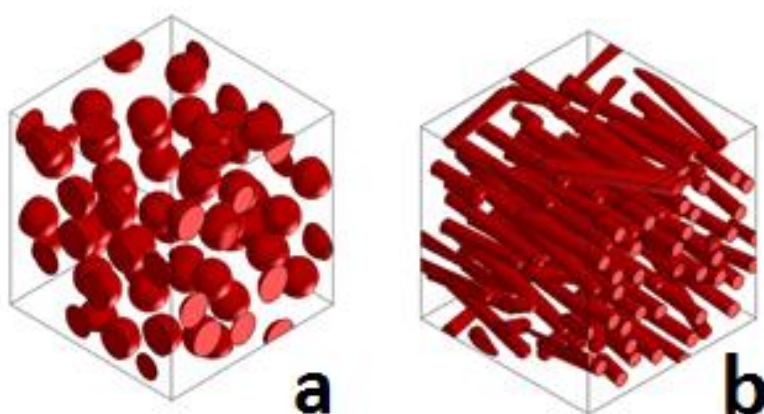


Figure 5. Elementary models of metal polymer composite material developed in the MSC.Digimat program, a) spherical shape b) needle shape

We also took a sample printed on a 3D printer with a metal polymer composite material and a sample pressed into a molten form, compared the mechanical characteristics of the two samples, and conducted experimental work on stretching and bending by volume. The metal polymer composite material consists of 316L grade stainless steel powders with a carbon content of 0.018 %, and 90 % percent.

FILABOT EX2 with a filament diameter of 1.75 mm for printing on a 3D printer, Filabot made a filament at a temperature of 180 °C at a speed of 15 rpm. Using the PrintBox3D one 3D printer, we obtained the following G-code parameters in the special Repetier Host software management. They are extruder temperature 230 °C, working table temperature 60 °C, floor height 0.6 mm, filling 100 %, printing speed 25 mm/s.

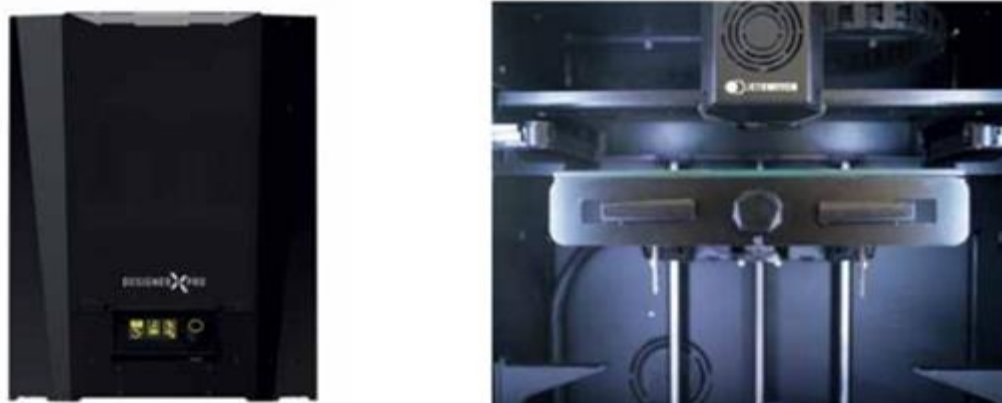


Figure 6. PrintBox3D printer



Figure 7. Specially prepared samples: a) sample obtained by casting by soldering; b) sample printed on a 3D printer

3D printer specifications include print speed: up to 100 cm³ /H; nozzle diameter: 0.3 mm; maximum print temperature: 380 °C; maximum table temperature: 150 °C.

If we talk about the form for the soldering method, the form is made on a single screw extruder with a diameter of 55 mm, L: D = 25, produced by Esmos. Electric heating. Thermocouples and a thermostat regulate the temperature. The temperature regime of extrusion is as follows: Zone I-260 °C; Zone II - 265 °C; Zone III-270 °C, and Zone IV-260 °C.

Results and discussion

The results of the calculation of the diagram of mechanical characteristics of a material consisting of a combination of different percentages of binders and metal powders were obtained by the DIGIMAT program.

A diagram of the mechanical properties of composite materials with glass fibers is shown in figure 8. The results of the calculation revealed an increase in the flexibility limit of the needle-shaped composite material. The flexibility limit of the spherical Composite is 100 MPa. The limit of elasticity of the material with mechanical inclusions of the needle is 380 MPa. These results can be seen in figure 9.

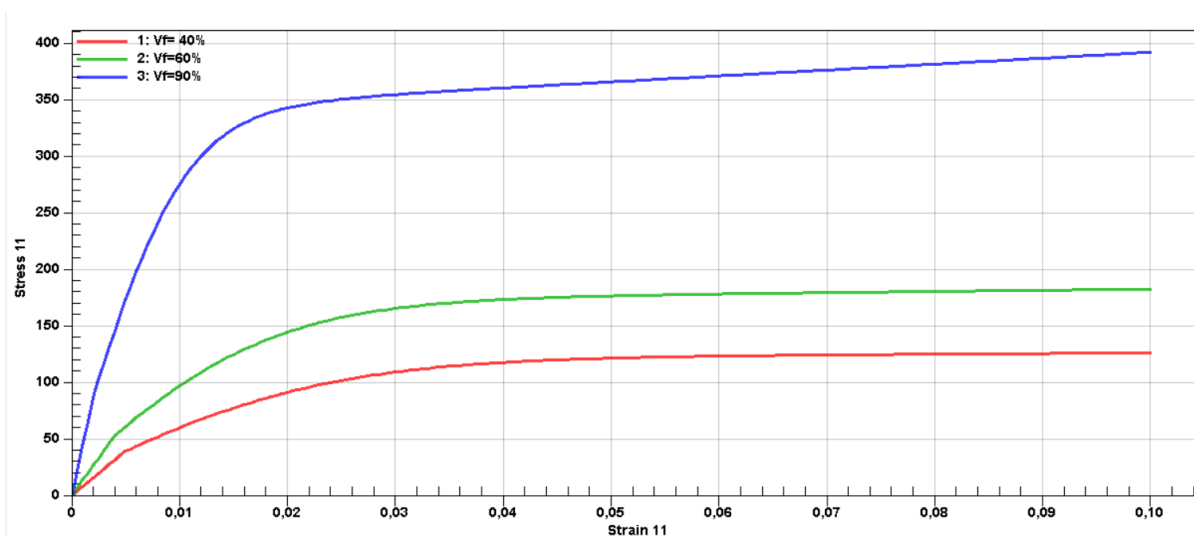


Figure 8. Diagram of deformation resistance for samples with needle inclusions when filling 40%, 60%, 90%

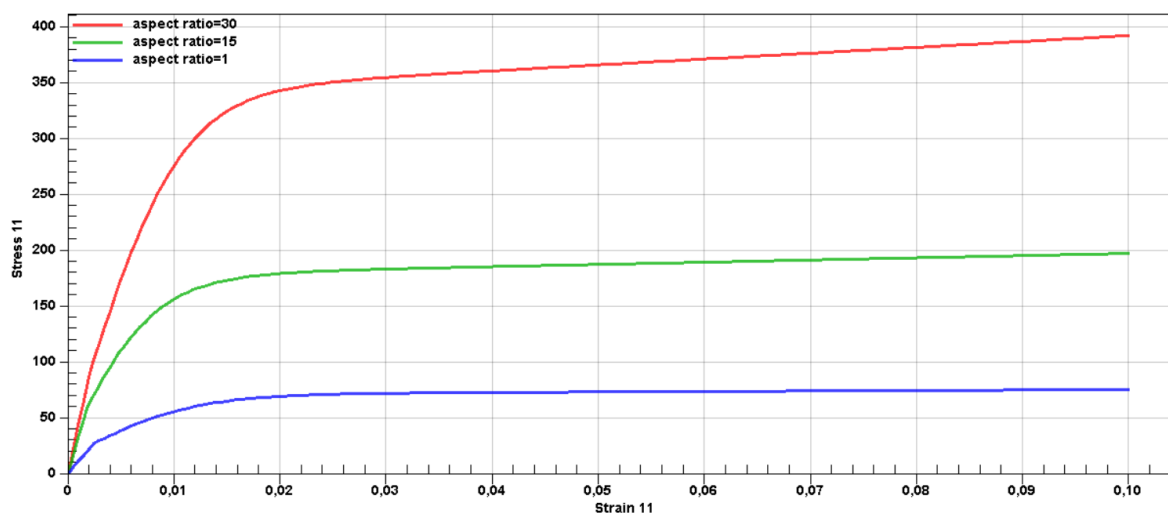


Figure 9. Diagram of deformation resistance for samples with a coefficient of the ratio of the radii of the shape, needle shape 30 (red curve), needle shape 15 (green curve), ball shape 1 (blue curve)

In the analysis of the diagram in Figure 8, you can see the linear dependence of the strength of composite material on the percentage of metal powders. Also, meal polymer composite material, that is, feedstock 316LW traditional MIM technology in the production of a filament with a percentage of metal powders up to 90 %, the filament breaks down by bending. If a large amount of metal powders is added, which increases the strength, the composite material loses its elasticity. For samples with a coefficient of

the ratio of the radii of the form, it allows us to assume that the specification of metal powders in the deformation resistance diagram improves the quality of the layer-by-layer pressing process [13, 14, 15], but on the other hand, reduces the strength characteristics of the composite, this fact contributes to a further deepening of the study of optimal parameters of the ratio of inserts and matrices. As shown in figure 9.

According to the results of the study, the strength values depend on the parameters of the method of filling samples with molten pressure. The casting temperature is 270 °C. The main goal is to evaluate the relative values of strength during the creation period using two methods of unburned samples. The figures and diagrams during the experiment were shown below.

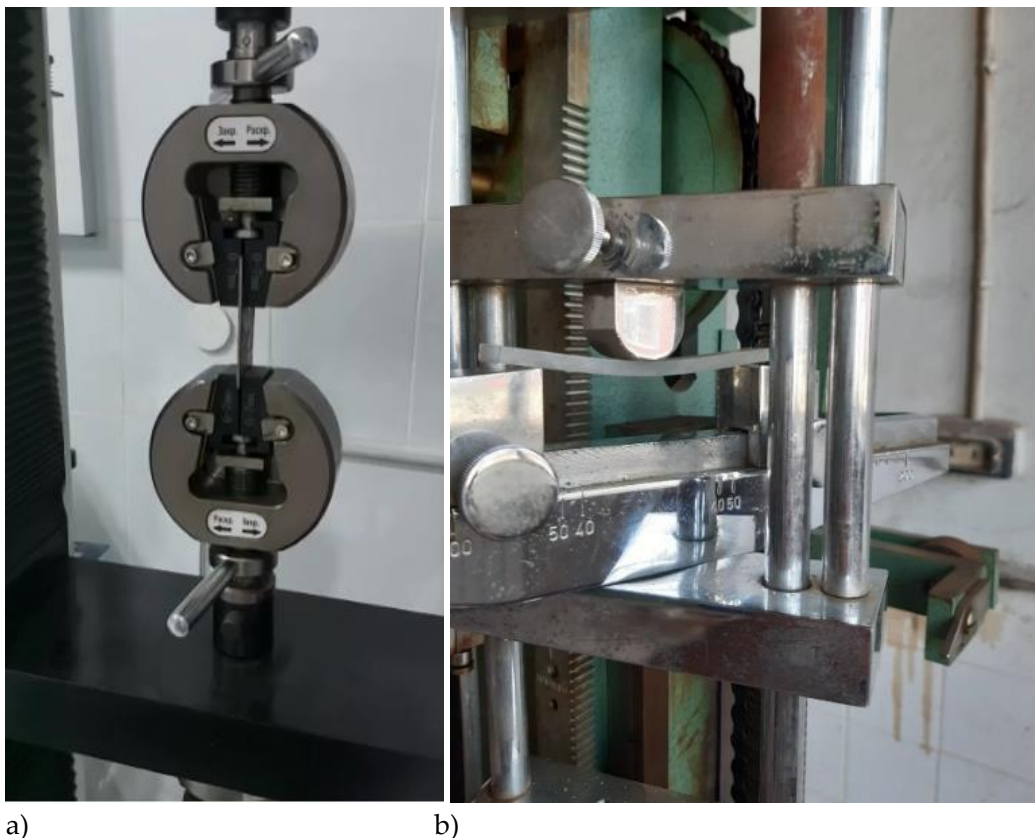


Figure 10. a) Stretching tests; b) bending tests

Series graph:

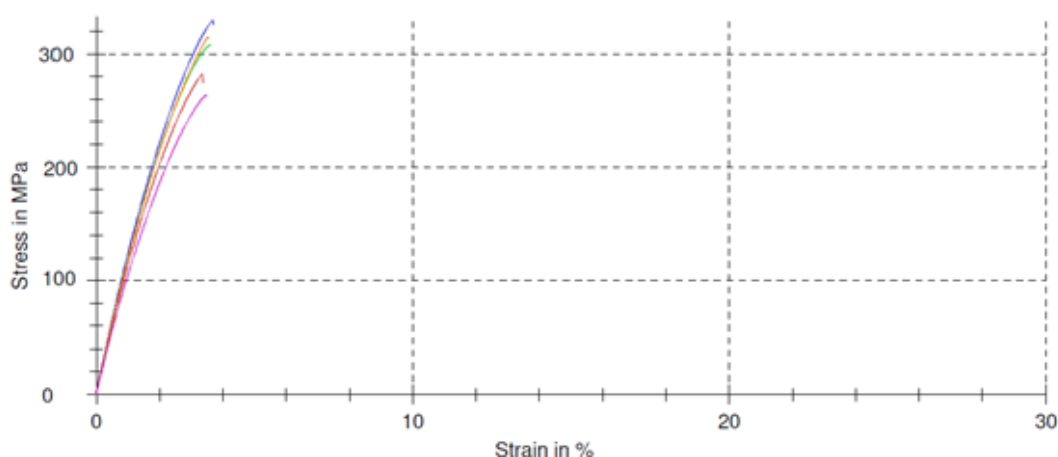


Figure 11. Voltage-deformation diagram of a sample printed on a 3D printer with a metal polymer composite material

Series graph:

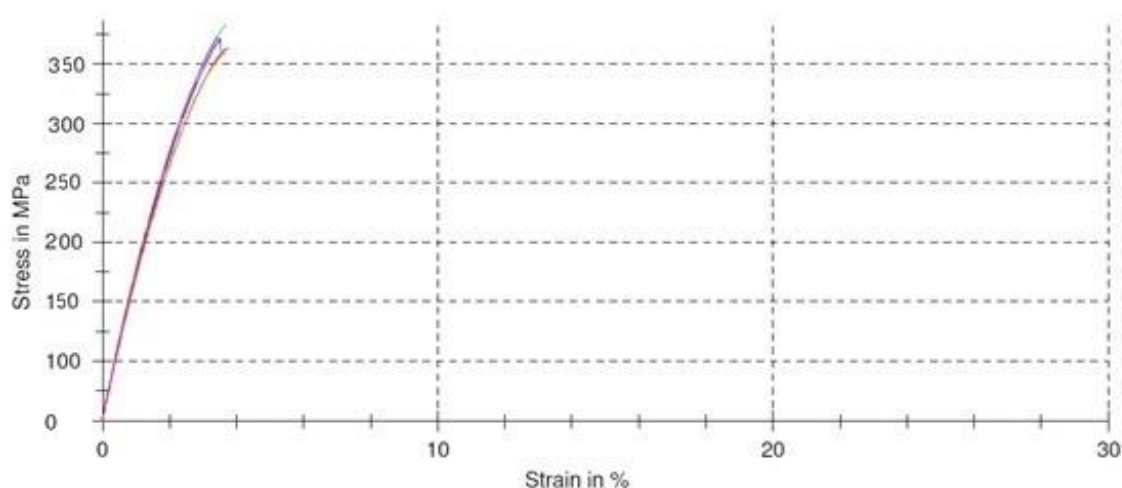


Figure 12. Voltage-deformation diagram of a sample made by soldering pressure-casting technology with a metal polymer composite material

A comparison of the diagrams presented in figure 11, figure 12 indicates a difference in the magnitude of the rupture stress for samples made by different technology (casting and 3D printing), it is obvious that with the technology of printing samples, the rupture voltage $\sigma = 320$ MPa and with casting $\sigma = 380$ MPa. The results of bending are shown in Table 2.

Table 2. Flexural stress of the composites

№	MP %	Flexural stress, MPa	
		3D printing technology	casting technology for soldering
1	90	341.2	360
2	90	357.7	352
3	90	360	375
4	90	388.4	356
5	90	370.5	368

The tensile strength of the product printed on a 3D printer decreased by 18 %, which is directly related to the parameter at the time of printing. It is possible to increase the mechanical properties by selecting the desired parameter. The metal showed a satisfactory level of mechanical properties of the sample printed on a 3D printer with a polymer composite material.

Conclusion

A new reverse pressure Press device has been developed to create a thread that will be applied to a 3D printer. To determine the microstructure of a metal polymer composite material, compounds with needle and spherical shapes were obtained, and a method of modeling the modulus of strength and elasticity of composite materials was proposed. This method allows you to obtain a stable and accurate prediction of mechanical properties.

Numerical modeling of the percentage dependence of metal powders on the fluidity limit and modulus of elasticity of a metal polymer composite material was carried out. A comparative study of a sample printed on a 3D printer, a sample obtained by melting pressure casting, was carried out.

Acknowledgments

This research was supported by the research grants AP08857034 «Development of a new design of a pressing equipment and a chamber with a gas-dynamic installation with program control for the manufacture of additive technology of high-quality products» from the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan for 2020-2022».

Список литературы

1. Баженов С., Композитные материалы. Механика и технология // учеб. пособие -2004. - С. 406
2. Крутов Е.С. Разработка экструдера для изготовления пластиковой нити для 3D принтеров (FDM) // Молодой учёный -2020. - № 26.1.316.1. - С. 21-24.
3. Перовская К.А., Математическое моделирование процесса литья под давлением XII. Международная студенческая научная конференция Студенческий научный форум – 2020.
4. Бурдин Д.В., Виноградов Р.Е., Смирнова Е.А., Разработка композиционных 4. материалов с полимерной матрицей, армированной проволокой из никелида титана // II международная конференция «Композитные материалы и конструкции». - Москва, Россия. –С. 67-68.
5. Тверской М.В., Хилкова А.А., Хилков Д.Э. Исследование особенностей инжекционного литья металлических порошковых смесей // Политехнический молодежный журнал МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 2018. - №11.28. - С. 406–407.
6. Семенов А.Б., Муранов А.Н., Куцбах А.А., Семенов Б.И. Инжекционное литье

структурированных многофазных материалов // Вестник РУДН. Инженерные исследования. - 2017. - Т. 18. - №4. - С. 407–425.

7. Munsch M., Schmidt-Lehr M., Wycisk E. Metal additive manufacturing with sinter - based technologies. - 2018. – vol. 3.

8. Gibson M.A., Mykulowycz N.M., Shim J. et al. 3D printing metals like thermoplastics: Fused filament fabrication of metallic glasses. Materials Today. - 2018. -21. (7). - С. 697-702.

9. Korotchenko A.J., Kotomin S.V., Tverskoy M.V. et al. The development of a new composition of the metal powder mixture to injection molding (MIM technology) // Liteinoe proizvodstvo Foundry, Technologies and Equipment. - 2018. - 2. 23–27.

10. Коротченко А.Ю., Тверской М.В., Хилков Д.Э. и др. Применение аддитивных технологий при инъекционном литье деталей. Технический оппонент. - 2020. -6. (1). - С. 34-40.

11. Kukla C., Duretek I., Schuschnigg S. Properties for PIM Feedstocks Used in Fused Filament Fabrication. World PM2016-AM-Deposition Technologies, - 2016.

12. Raza M.R., Ahmad F., Muhamad N. et al. Effects of solid loading and cooling rate on the mechanical properties and corrosion behavior of powder injection molded 316 L stainless steel. Powder technology. - 2016. -289. - С. 135-142.

13. Agapovichev A.V. et al. The investigation of microstructure and mechanical properties of tool steel produced by selective laser melting technology //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, - 2018. -Т. 441. - №1. - С. 012003.

14. Кожанова Д.А., Любимова А.К. Моделирование гибких тканых композитов в системе ANSYS Mechanical APDL Компьютерные исследования и моделирование, - 2018., - Т. 10. - № 67. - С. 789-799.

15. Муранов А.Н. Исследование свободной усадки основных типов полимерно-порошковых смесей, применяемых для изготовления деталей из порошковых аналогов стали 38ХМА (42CrMo4) МІМ-методом // Механика композиционных материалов и конструкций. - 2019. - Т. 25. - №1. - С. 76–86.

16. Патент № 35634, Непрерывное прессовое устройство для изготовления длинномерных профилей из порошковых материалов.

**М.Е. Исаметова¹, Б.Н. Абсадыков¹, Б.Б. Базарбай¹, Г.А. Смаилова¹, С.А. Калмаганбетов¹,
Н. Дешевский²**

¹Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан

²Химия-металлургия университеті, София, Болгария

Бөлшектерді қабатты өсірудің технологиялық процесінде пайдаланылатын металл полимерлі композитті материалдардың механикалық қасиеттерін компьютерлік модельдеу және верификациялау

Аңдатпа. Мақалада полиамидті матрицадан және металл қоспалардан тұратын композиттік материалдың микроструктурасын компьютерлік модельдеу нәтижелері келтірілген. Зерттелетін композиция прогрессивті МІМ технологияларға арналған материалдар өндірісіндегі алдыңғы қатарлы бағыттардың бірі болып табылады. Мақалада композициялық шыбық өндіруге арналған жаңа престеу құрылғысының құрылымы келтірді. Композитті металл полимерлі материалдың механикалық қасиеттерін компьютерлік модельдеу MF модулі DIGIMAT жоғары деңгейдегі АЖЖ-да жүргізілді. Шағын деңгейдегі композитті модельдеу қосылымдардың пайыздық құрамы мен материалдың ағымдылығының жоғарғы шегі арасындағы өзара байланысты, сондай-ақ жобаланатын материалдың беріктігі шегіне қосу нысанының әсерін орнатуға мүмкіндік берді. Есептеу экспериментінің нәтижелері инъекциялық құю технологиясымен және 3D баспа технологиясымен дайындалған үлгілер үшін табиғи эксперимент

нәтижелерімен тексерілді.

Кілт сөздер: фидсток, МІМ технологиялар, 3D басып шығару, инжекциялық құю, аққыштық шегі, материалдың механикалық қасиеттері.

**М.Е. Исаметова¹, Б.Н. Абсадыков¹, Б.Б. Базарбай¹, Г.А. Смаилова¹, С.А. Калмаганбетов¹,
Н. Дешевский²**

¹Сатпаев Университет, Алматы, Казахстан

²Химико-металлургический университет, София, Болгария

**Компьютерное моделирование и верификация механических свойств
металлополимерных композитных материалов, используемых в технологическом
процессе послойного выращивания деталей**

Аннотация. В статье приведены результаты компьютерного моделирования микроструктуры композитного материала, состоящего из полиамидной матрицы и металлических включений. Исследуемая композиция является одним из передовых направлений в производстве материалов для прогрессивных МІМ технологий. Приведена конструкция нового прессового устройства для производства композитного прутка. Компьютерное моделирование механических свойств композитного металлополимерного материала проводилось в САПР высшего уровня DIGIMAT MF. Моделирование композита на микроуровне позволило установить взаимосвязь между процентным содержанием включений и верхним пределом текучести материала, а также влияние формы включений на предел прочности проектируемого материала. Результаты вычислительного эксперимента были верифицированы с результатами натурного эксперимента для образцов, изготовленных технологией инжекционного литья и технологией 3D печати.

Ключевые слова: фидсток, МІМ технологии, 3D печать, инжекционное литье, предел текучести, механические свойства материала.

References

1. Bazhenov S., Composite materials. Mechanics and technology // studies. Manual -2004. –p. 406.
2. Krutov E.S. Development of an extruder for the manufacture of plastic filament for 3D printers (FDM) // Young scientist -2020. - No. 26.1.316.1. - p. 21-24.
3. Perovskaya K.A., Mathematical modeling of the injection molding process XII. International Student Scientific Conference Student Scientific Forum – 2020.
4. Burdin D.V., Vinogradov R.E., Smirnova E.A., Development of composite 4. materials with a polymer matrix reinforced with titanium nickelide wire // II International Conference "Composite materials and structures". - Moscow, Russia. –p. 67-68.
5. Tverskoy M.V., Khilkova A.A., Khilkov D.E. Investigation of the features of injection molding of metal powder mixtures // Polytechnic Youth Journal of Bauman Moscow State Technical University. - 2018. - No. 11.28. - p. 406-407.
6. Semenov A.B., Muranov A.N., Kutsbakh A.A., Semenov B.I. Injection molding of structured multiphase materials // Bulletin of RUDN. Engineering research. - 2017. - Vol. 18. - No.4. - p. 407-425.
7. Munsch M., Schmidt-Lehr M., Wycisk E. Metal additive manufacturing with sinter - based technologies. -2018. – vol. 3.
8. Gibson M.A., Mykulowycz N.M., Shim J. et al. 3D printing metals like thermoplastics: Fused filament fabrication of metallic glasses. Materials Today. -2018. -21. (7). – p. 697-702.
9. Korotchenko A.J., Kotomin S.V., Tverskoy M.V. et al. The development of a new composition of the metal powder mixture to injection molding (MIM technology) // Liteinoe proizvodstvo Foundry,

Technologies and Equipment. – 2018. - 2. 23-27.

10. Korotchenko A.Yu., Tverskoy M.V., Khilkov D.E., etc. Application of additive technologies in injection molding of parts. Technical opponent. – 2020. -6. (1). – p. 34 - 40.

11. Kukla C., Duretek I., Schuschnigg S. Properties for PIM Feedstocks Used in Fused Filament Fabrication. World PM2016-AM-Deposition Technologies, - 2016.

12. Raza M.R., Ahmad F., Muhamad N. et al. Effects of solid loading and cooling rate on the mechanical properties and corrosion behavior of powder injection molded 316 L stainless steel. Powder technology. – 2016. -289. – p. 135-142.

13. Agapovichev A.V. et al. The investigation of microstructure and mechanical properties of tool steel produced by selective laser melting technology //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, -2018. – Vol. 441. – №. 1. – p. 012003.

14. Kozhanova D.A., Lyubimova A.K. Modeling of flexible woven composites in the ANSYS Mechanical APDL system Computer research and modeling, - 2018. -Vol. 10. - №. 67. – p. 789-799.

15. Muranov A.N. Investigation of free shrinkage of the main types of polymer-powder mixtures used for the manufacture of parts from powder analogs of steel 38KHMA (42CrMo4) by MIM-method // Mechanics of composite materials and structures. - 2019. - Vol. 25. - No. 1. - pp. 76-86.

16. Patent № 35634, Continuous pressing device for producing long profiles from powdered materials.

Information about authors:

Isametova M.E. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering, Standardization, Certification, and Metrology, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan.

Absadykov B.N. – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mechanical Engineering, Standardization, Certification and Metrology, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan.

Bazarbay B.B. – Ph.D. student of the Department of Mechanical Engineering, Standardization, Certification and Metrology, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan.

Izmailov G.A. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Standardization, Certification and Metrology, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan.

Kalmaganbetov S.A. – Ph.D. student of the Department of Mechanical Engineering, Standardization, Certification and Metrology, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan.

Deshevsky N. – Ph.D. doctor, Professor, Head of the Department of Polymer Engineering, University of Chemistry and Metallurgy, Sofia, Bulgaria

Исаметова М.Е. – техника ғылымдарының кандидаты, машина жасау, стандарттау, сертификаттау және метрология кафедрасының меңгерушісі, ассоц. профессоры, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан.

Абсадыков Б.Н. – техника ғылымдарының докторы, машина жасау, стандарттау, сертификаттау және метрология кафедрасының профессоры, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан.

Базарбай Б.Б. – машина жасау, стандарттау, сертификаттау және метрология кафедрасының PhD докторанты, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан.

Смаилова Г.А. – техника ғылымдарының кандидаты, машина жасау, стандарттау, сертификаттау және метрология кафедрасының ассоц. профессоры, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан.

Калмаганбетов С.А. – машина жасау, стандарттау, сертификаттау және метрология кафедрасының PhD докторанты, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан.

Дешевский Н. – PhD доктор, полимерлік инженерия кафедрасының меңгерушісі, профессоры, Химиялық технология және металлургия университеті, София, Болгария

К.К.Комбаев¹, Р.Б. Ахмадиев², А.Б. Касенова¹, Д.С.Елеманов¹, Г.М.Токтарбаева¹,
Г.С. Сыпайнова¹

¹Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

²Өскемен өнеркәсіптік арматура зауыты АҚ, Өскемен, Қазақстан

E-mail: Kombae82@mail.ru, Rustr77@mail.ru, baurzhan.bota95@mail.ru, atonai2009@mail.ru, manatkyzy.gaukhar@mail.ru, Cylden84@mail.ru

Сына бағаналарының жабдықтарының 20Х болатты электролиттік-плазмалық шынықтыру арқылы беріктендіру

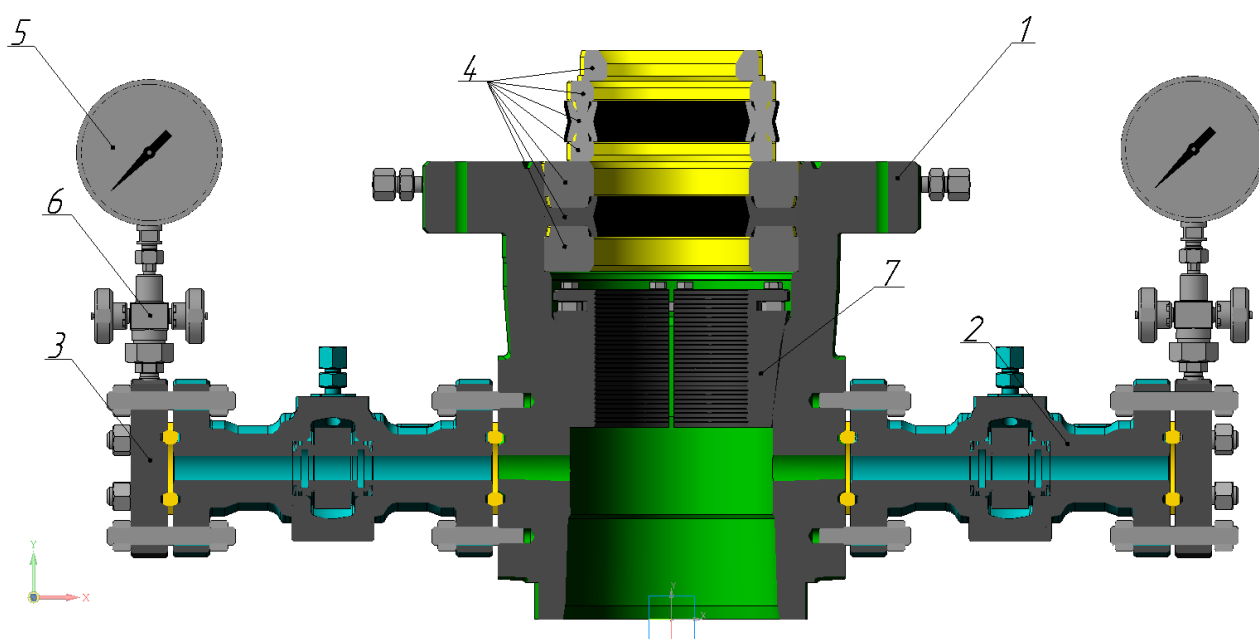
Аңдатпа. Мұнай-газ өнімдеріне әлемдік сұраныс мұнай өнімдерін өндіруге және тасымалдауға арналған бөлшектер мен жабдықтарды өндіруде қолданылатын технологиялық процестерде айтарлықтай сапалық және сандық өзгерістер тудырды. Қазақстан әлемдегі ең ірі мұнай өндіруші ел болып табылады, сондықтан мұнай-газ жабдықтарын өндірудің ілгерінді технологиясын дамыту өнеркәсіптік және экономикалық өсуді ынталандыруы мүмкін. Сына бағаналарының (СБ) маңызды бөлшектерін беріктендірудің дәстүрлі технологиялары көптеген өнеркәсіптік кәсіпорындарда қолданылатынына қарамастан, көп энергияны және көп уақытты қажет етеді. Төмен көміртекті легіріленген плашканы химиялық-термиялық беріктендіруді ғылыми зерттеу үшін 20Х болаттан, МемСт 33260-2015 (207 Steel), жасалған сына бағаналарын байлауды электролиттік-плазмалық беріктендірудің эксперименттік қондырғысы әзірленді. Электролиттік-плазмалық беріктендірудің тәжірибелік зерттеулері әртүрлі өңдеу режимдерінде жүргізілді. Бөліктің жоғары жылдамдықты қыздыруының вольт-амперлік сипаттамасының иондалған электролит плазмасының температурасына тәуелділігі сипатталған. Электролиттегі қыздыру мен беріктендіру жылу өткізгіш үрдісі математикалық модельмен сипатталған, регрессия формуласы алынған. Электролиттік-плазмалық беріктендірудің негізгі параметрлері анықталды, өңдеудің оңтайлы режимдері шығарылды. Растрлық элементтік талдау төмен көміртекті легіріленген болаттың қатайтылған қабатының көміртегінің беттік модификациясын көрсетеді. Электролиттік плазмалық беріктендіру әдісі СБ плашкасының жұптасқан жұмыс беттерін жергілікті қатайтуға мүмкіндік береді. Бастапқы күйге қатысты микроқұрылымның өзгеру нәтижелерін, қаттылықтың артуын зерттеді.

Кілт сөздер: электролиттік-плазмалық беріктендіру, қатайту, қаттылық, математикалық модель, жергілікті өңдеу.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-139-2-86-101

Кіріспе

Сына бағаналарының жабдығы олардың арасындағы сақиналық кеңістікті герметизациялау мақсатында ұңғыма сағасының үстінен шығып тұратын шектес шегендеу бағаналарының жоғарғы ұштарын бекітуге арналған (Сурет 1).



1 – баған басы; 2 - шибер ысырмасы; 3 - бітеуіш; 4 - нығыздау пакеті; 5 - манометр; 6 - манометр шұрасы; 7-плашка.

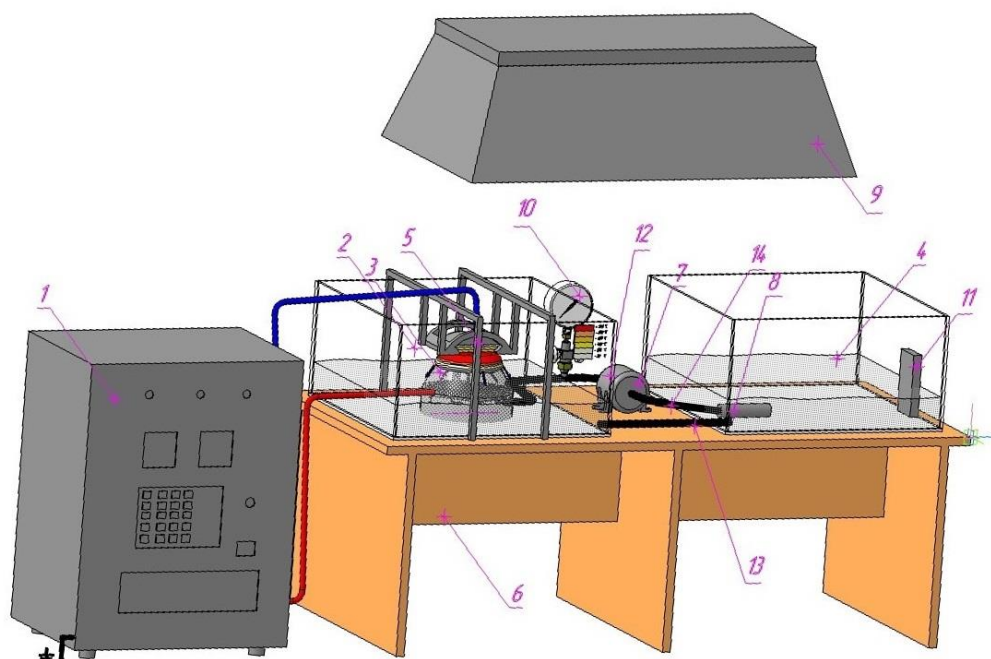
Сурет 1. Шибер ысырмасының сына бағаналарының жабдығы

Сына бағаналарының жабдығы күрт континенталды климаттық жағдайда қолданады.

Мұнайды айдау процесінде 7 плашка сегменттері (Сурет 1) жоғары түйіспелі кернеулерге және соққы-шаршау тозуына ұшырайды. Төмен көміртекті 20Х болаттан (МемСТ 33260-2015) жасалған СБ плашкаларын нығайту дәстүрлі тәсілмен қамтамасыз етіледі - цементтеу, содан кейін қатайту [1]. Алайда, дәстүрлі процесс жоғары жылу жоғалтуымен, тиімділікті төмендетумен, айтарлықтай уақыт шығындарымен және жоғары энергия тұтынумен қатар жүреді [2]. Баламалы әдіс ретінде төмен көміртекті легіріленген болаттың электролитті-плазмалық беріктенуі (бұдан әрі-ЭПБ) зерттелді.

Зерттеу әдістері

Плашканың жанасатын бетінің бетін эксперименттік электролитті-плазмалық беріктендіру үшін арнайы қондырғы әзірленді (Сурет 2). Қуат көзі 1 тікелей токпен қамтамасыз етеді, ол бақылау құрылғыларымен және басқару панелімен біріктірілген. Қатайтылған бөлік 2 диэлектрлік ваннаның үстіне салынған 5 қысқыш механизміне орнатылады және қысылады. Конустық шүмек 3 – сұйық анод пен бөлшек - катод арасында электролитті плазма қозғалатын жұмыс құрылғысы. 4 резервуарынан электролит 7 сорғымен 8 сүзгісі бар 14 жоғары қысымды шланг арқылы 3 саптамаға беріледі.

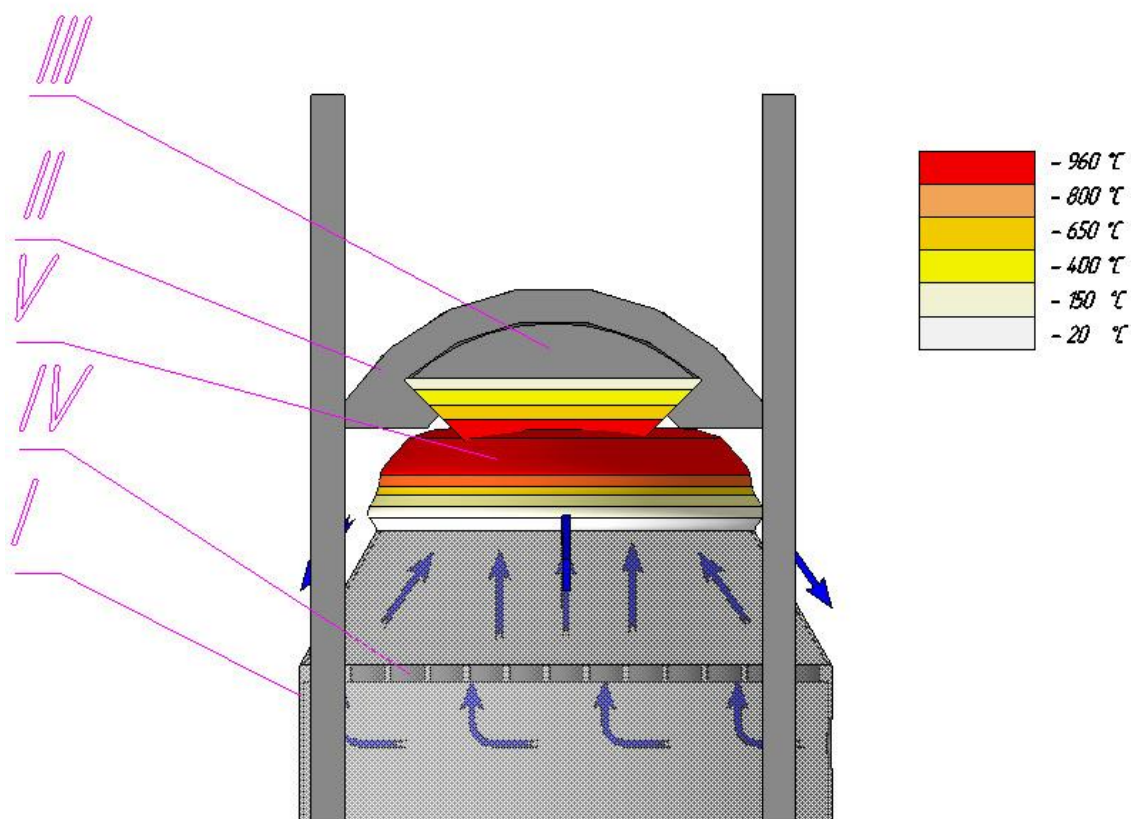


1 – қуат көзі; 2 - жұмыс ваннасы; 3 - конус шүмегі; 4 – резервуар; 5 – қысқыш механизм; 6 - үстел; 7 – сорғы; 8 - сүзгі; 9 - сорғыш; 10 - манометр; 11 – термометр; 12 – шар шүмегі; 13, 14-жоғары қысымды шланг.

Сурет 2. Электролиттік-плазмалық беріктендіруге арналған эксперименттік қондырғы

Конустық саптамаға 12Х18Н10Т МемСТ 5949-75 (аналогы - EURONORM 95 Grade X10CrNiTi1810 Steel) тот баспайтын болаттан жасалған анод салынған [3]. Электролит қысымы 10 манометрмен басқарылады және 12 шарлы кранмен реттеледі. Электролиттің жұмыс температурасы 20-60 °С аралығында 11 термометрмен бақыланады. 2 жұмыс ваннасынан пайдаланылған электролит 13 жоғары қысымды шланг арқылы 4 резервуарға кері жіберіледі. 6 жұмыс үстелінің үстінде 9 сорғыш орнатылған, ол өңдеу процесіне қосылады.

Электролиттік-плазмалық беріктендірудің жұмыс органы конустық шүмек болып табылады (Сурет 3). Саптаманың үстінде беріктендірілетін сына бағаналарының жабдықтар (СБЖ) плашкасын орнатуға арналған арнайы конструкция орнатылған. Сына бағандарының III орамасының сегменті II пішінді диэлектрлік ұстағышқа салынған, оның формасы бөліктің контурын қайталайды. Саптаманың конустық корпусына қалыңдығы 2 мм тот баспайтын болаттан жасалған 12ХНЗМА-III, МемСТ 5949-75 IV анодты тор салынған (аналогы - EURONORM 95 Grade X10CrNiTi1810 Steel). Кернеу қосылған кезде катод-қатайтылған III бөлік сұйық анодпен, сода күлінің ерітіндісімен жабылады. Қысқа тұйықталу кезінде электролит Na_2CO_3 элементтері мен анодтың тот баспайтын болатының иондануымен пленкалы қайнауға дейін жеткізіледі. Бу, ауа қабатындағы электролиттің ыдырау иондары V электролит плазмасын қоздырады, оның температурасы бөлікті жергілікті қыздырады.



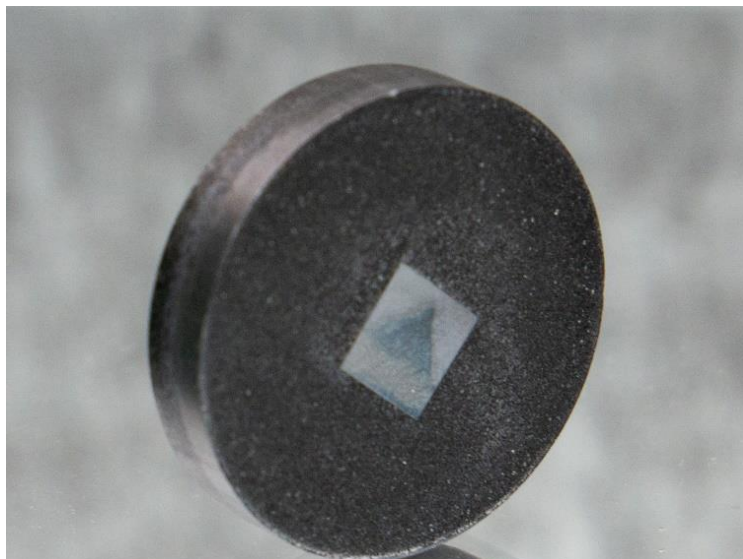
I-конусты саптама, II- СБЖ плашкасының диэлектрлік ұстағышы, III- нығайтылатын СБЖ плашкасы -катод, IV-тот баспайтын болаттан жасалған тор-анод, V- электролитті плазма

Сурет 3. СБЖ плашкасына арналған плазматрон құрылғысы

Бұған дейін беткі қабатсыз сөндірудің оңтайлы режимдері анықталған [4] және 20Х болат үлгілерінде қатайтылған қабаттың қасиеттері зерттелген (С 0.17-0.23%; Si 0.17-0.37%; Mn 0.5-0.8%; Cr 0.7-1.0%, МемСт 33260-2015) (207 Steel). Қатайту ЭПБ қондырғысының резервуарынан айналатын және салқындатылатын электролит ағынында жылуды шығару есебінен жүреді.

Өлшемі 10×10×20 мм үлгілер бастапқы күйінде СБЖ плашкасынан кесілген және салыстыру үшін электролитті-плазмалық беріктендіруден кейін, қалыңдығы 1 мм алмаз дискімен салқындатқышқа батырылған. N = 350 айн/мин төмен кесу жылдамдығы және m=250 Г төмен жүктеме кезінде үлгі айтарлықтай деформациялар мен жылу әсерін сезбейді [3]. Металлографиялық микроанализ үшін хром қос тотығы пастасын қолдана отырып, жылтыратудан кейінгі шлифтер азот қышқылының 5% спирт ерітіндісімен уланған (сурет 4).

Эксперименттік зерттеулер мен механикалық сынақтар "VERITAS" озық даму орталығына және Д. Серікбаева атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің «Машинажасау» ғылыми-өндірістік кешенінде жүргізілді. [4].

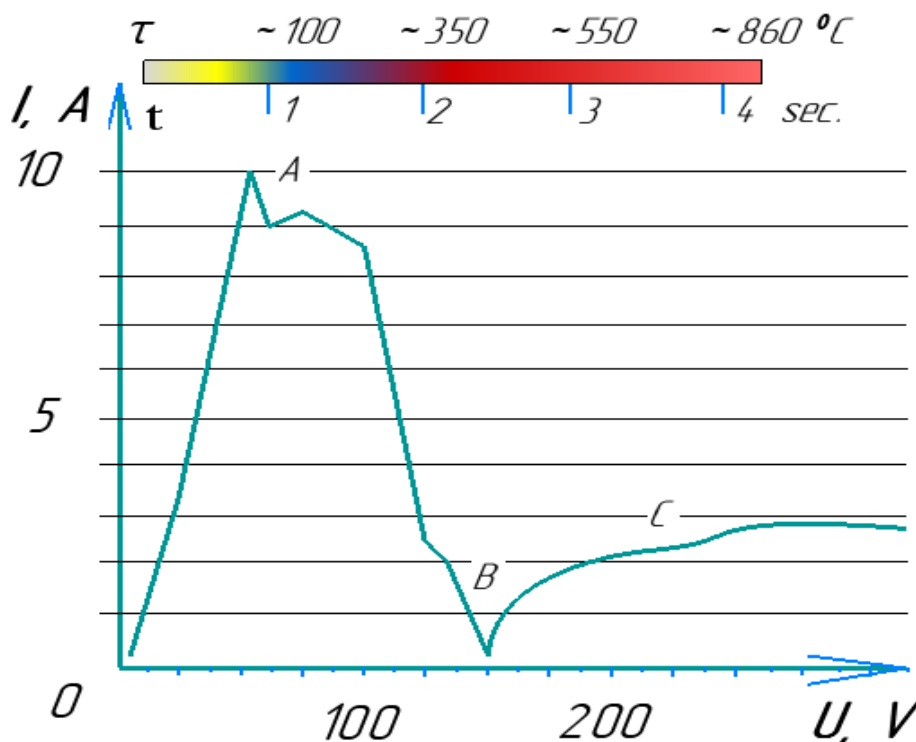


Сурет 4. СБЖ плашкасынан кесілген микроқұрылымдық талдауға арналған үлгі

Үлгінің элементтік құрамын JEOL фирмасының (Жапония) JSM-6390LV растрлық электронды микроскопында, "OXFORD Instruments" фирмасының INCAEnergy энергодисперсиялық микроанализінің приставкасымен зерттеді [5]. Микроқаттылық мәндері DuraScan-20 микроқаттамасымен анықталды. Сынақ әдісі - Виккерс, Кнуп. Сынақ жүктемесі - 2 кГ, максималды жүктеме кезінде ұстау - 5 секунд.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау

Тұрақты тоқ кернеуі беріктендіру процесінің маңызды технологиялық параметрі болып табылады, оған тек өңделген беттің сапасы ғана емес, сонымен қатар экономикалық көрсеткіштер де байланысты болады. Кернеудің біртіндеп жоғарылауымен кальцийленген сода электролизі жүреді, ал Ом Заңына сәйкес ток өседі (0-А бөлімі, сурет 5) [6]. Тоқ пен кернеудің жоғарылауымен, шамамен $t=1$ сек. электролиттің температурасы да артады, бұл тоқтың электролит арқылы өтуінің салдары. Белгілі бір кернеу мәні $\sim 100 - 180$ В жеткенде, катодтың бетінде электролит қайнайды [7]. Бөлшектің бетіне жақын бу-ауа қабатының белсенді бөлінуі бар, ол көпіршікті қайнатуға өтеді. Қайнаған кезде бөлшектің температурасы $\tau \sim 100^\circ\text{C}$, судың қайнау температурасына жақын. Белсенді электродтың айналасында көпіршікті қайнау пайда болған кезде тоқтың үлкен пульсациясы байқалады (А-В бөлімі). Олардың амплитудасы едәуір төмендейді және екінші секундта электролиттік плазма қозғалады, ал бөлік $\tau < 350^\circ\text{C}$ дейін қызады.



Сурет 5. ЭПБ-дің вольт-амперлік сипаттамасы

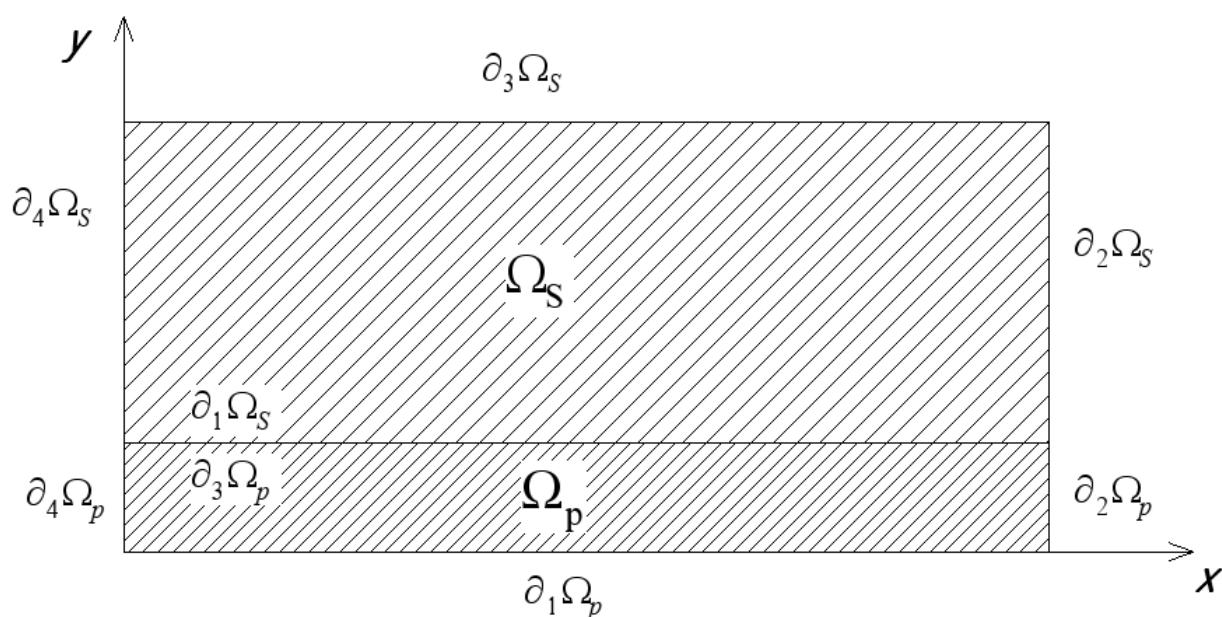
Бөлшектің айналасындағы қабықтың көгілдір жарқылына тән электролитті плазманың пайда болуына байланысты ток күші мен кернеу 200 В-қа дейін тұрақтанады (В-С бөлімі). 5-суретте плазма температурасынан (<6000 K) $t=3-4$ секунд кезеңінде бөлшек фазалық түрлендіруге дейін жергілікті қыздырылады [8]. 20Х болаттың фазалық өзгерістері, МемСТ 33260-2015 (207 болат) $t=840-860^{\circ}\text{C}$ кезінде жүреді [9]. Плазманың жануының көгілдір түсі неғұрлым ашық болса, соғұрлым оның құрамында иондар, соның ішінде модификатор иондары болады.

Әрі қарай, кернеу қуат көзінен 4 секунд ішінде өшеді және электролит ағынында бөлік қатайды. Шынығу кезінде электролит 90°C -тан аспайды, себебі резервуарда салқындатылады және шүмектің жұмыс органында айналады [10].

Электролит-плазмалық сөндіру процестері температураның өзгеруімен және нақты жылу өткізгіштікке байланысты бөліктің фазалық өзгеруімен тікелей байланысты. Электролитті-плазмалық беріктендіру процестері математикалық модельмен сипатталған, онда бөлшек жылу әсерінен шартты түрде қарастырылады [11]. Есептелген Ω аймақ қатайтылған қабат пен субстратқа сәйкес келетін Ω_p және Ω_s екі субобластқа бөлінеді, 6-сурет. Шекаралық шарттар теңдеумен анықталады (1) қабылданған болжамдарды ескере отырып, жылу өткізгіштік теңдеуі екі фазалы аймақ моделінің жылу теңдеуіне дейін азайтылуы мүмкін [12]:

$$\Psi(T) \frac{dT}{dt} = \lambda(\varepsilon_v, \varepsilon_\sigma) \nabla^2 T + F(qL) \quad (1)$$

мұндағы Ψ – фазалық ауысудың жасырын жылуы шығарылуын ескеретін өлшемсіз тиімді жылу сыйымдылығы; T – абсолютті температура; t – уақыт; λ – жылу өткізгіштік коэффициенті; ε_v және ε_σ – тығыздықтың көлемдік үлесі ретінде анықталған және сәйкесінше тегіс қимада қатайған қабат тығыздығының сипаттамалары. Теңдеудегі (1) плазманың беріктендіру термиялық әсері $q_L(t, x, y)$ ағынға тәуелді көлем көзі F мен ескеріледі, ол өз кезегінде теңдеудегі үлгі бетіндегі $q_{w0}(t, x)|_{y=0}$ жылу ағынымен анықталды.



Ω_S -субстрат, Ω_P - беріктендірілген қабат.

Сурет 6. Электролитті-плазмалық сөндірудің Ω есептеу аймағы

Плазманың беріктенуі затқа енген кезде сіңірілуі Бугер Заңына функционалды жақын заңмен сипатталады [13], таңдалған координаттар жүйесі үшін былай жазылады:

$$qL(t, x, y) = qL_0(t, x)|_{y=0} \exp(-\alpha y), \quad (2)$$

$qL_0(t, x)|_{y=0}$ функциясы уақыт бойынша периодты және кеңістіктік координаттарға тәуелді (x, y) функциямен беріледі, ол плазмалық беріктендірудің импульстік сипатын да, иондалған плазма ішіндегі сәулелену тығыздығын бөлуді де көрсетеді [14]:

$$qL_0(t, x)|_{y=0} = \frac{P_{act}}{R_b} g(x) \xi(t), \quad g(x) = g_u(x) \text{ немесе } g_n(x), \quad (3)$$

$$g_n(x) = \left(\frac{1}{2}\right) H(|x - X_b| - R_b), \quad (4)$$

$$g_u(x) = \frac{R_b^2}{(2\pi\sigma_b^2)^{1/2}} \exp\left(-\frac{(x - X_b)^2}{2\sigma_b^2}\right), \quad (5)$$

$$\xi = H(T_2 - t \bmod \tau_1). \quad (6)$$

мұндағы P_{act} – бетінің беріктендірудің нақты қуаты, $g(x)$ – иондалған плазмадағы ағынның тығыздығын бөлу функциясы, ξ – плазмалық қатаюдың П-тәрізді модуляция функциясы, R_b , V_b , X_0 и $X_b = X_0 + V_b t$ – радиус, жылдамдық, бастапқы позиция және иондалған плазма орталығының ағымдағы координаты, сәйкесінше σ_b – стандартты ауытқу, τ_1 және τ_2 – импульстар арасындағы уақыт (кезең) және бір импульстің ұзақтығы, H – Хэвисайд функциясы [15]. Фокустау жүйесінің g функциясы сипаттамаларына байланысты g_u немесе g_n функцияларын таңдау арқылы біртекті немесе Гаусстың бөлу түрінде беріледі. Плазмалық беріктендіру g функциясын нормалау қуатының 90% плазмалық ағынның тиімді R_b радиусымен шектелген беттік элементке келеді [16]. 6-суретте уақытша және кеңістіктік координаттарға қатысты жылу ағынын модуляциялайтын ξ , g_u және g_n функциясының графигі көрсетілген. Үлгінің $\partial_1 \Omega_P$ бетінде шынықтыру конвективтік және электролит ағынында жүреді [17].

$$nq | \nu_1 \Omega_p = h_{\text{эфф}}(T - T_{\text{окр}}) + \epsilon \epsilon_{SB} (T^4 - T_{\text{окр}}^4) \quad (7)$$

мұндағы ϵ - беттік эмиссия коэффициенті, $\epsilon_{SB} = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{Т}^4}$ Стефан-Больцман тұрақтысы, $T_{\text{окр}}$ - қоршаған орта температурасы, ал қалыпты n векторы қатайған қабаттан электролит ортасына бағытталған [18].

Металл бетінен булану жылу алмасудың тиімді $h_{\text{эфф}}$ коэффициенті арқылы модельде ескеріледі:

$$h_{\text{эфф}}(T) = h_{\text{конв}} + (1/2)(h_{\text{кип}} - h_{\text{конв}}) \tanh((T - T_{\text{кип}})/\Delta T_h), \quad (8)$$

мұнда газ ортасында конвекция есебінен жылу алмасудың $h_{\text{конв}}$ коэффициентімен анықталатын беттің конвективті салқындауынан $h_{\text{кип}}$ айқындайтын электролит ағынында шынығу есебінен салқындауға ауысуы ΔT_h температура интервалында $T_{\text{кип}}$ қайнау температурасына жақын жүреді. Қоршаған орта температурасынан $h_{\text{конв}}$ ескере отырып, бұдан әрі электролит ортасында плазмалық шыңдау кезінде жылу алмасу нақтылануы мүмкін. Субстраттың төменгі бетіндегі шекаралық жағдайлар [19]:

$$nq | \partial_3 \Omega_s = h_{\text{конв}}(T - T_{\text{окр}}) \quad (9)$$

Қатайтылған қабат пен субстраттың интерфейс бөлімі температура мен жылу ағынының үздіксіздігімен сипатталады:

$$T | \partial_3 \Omega_p = T | \partial_1 \Omega_s, \quad k (\partial T / \partial n) | \partial_3 \Omega_p = k (\partial T / \partial n) | \partial_1 \Omega_s. \quad (10)$$

Тік шекараларда $\partial_2 \Omega_p$ және $\partial_4 \Omega_p$ қатайған қабат пен шекараларда $\partial_2 \Omega_s$ және $\partial_4 \Omega_s$ субстраттар температура мен қарама-қарсы шекаралардағы ағындар есептелген уақытты азайту үшін тең болған кезде (10) теңдеулерге ұқсас мерзімді шекаралық шарттар орнатылады [20]. Бастапқы шарттар келесі түрде қабылданады:

$$T | \Omega_p \cap \Omega_s = T_{\text{нач}}, \quad (11)$$

мұндағы $T_{\text{нач}}$ - бұл үлгіні алдын-ала қыздыратын температура.

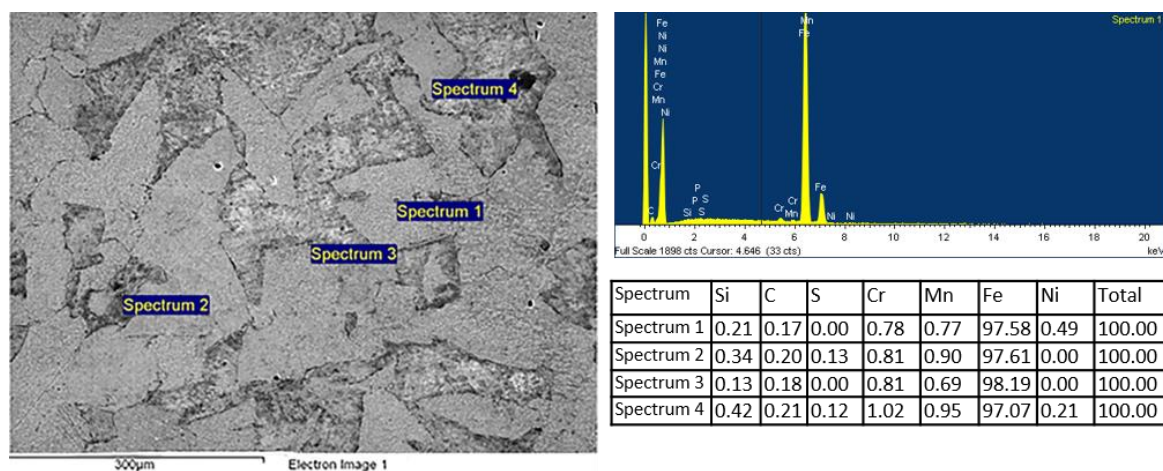
Сонымен, теңдеулер жүйесі (1) - (11) импульсті плазмалық қатаю процесін сипаттайды және жабық [21]. Сандық модель физикалық және инженерлік мәселелерді шешуге арналған Comsol MultiPhysics коммерциялық есептеу пакетінде жүзеге асырылды. Берілген Шекті есеп үшін жылу өткізгіштіктің стационарлық емес теңдеуі (12) соңғы элементтер әдісімен есептелді [22].

$$T = 4.5 \cdot t_{\text{наг}}^2 + 4.8 \cdot U - 25 \cdot t_{\text{зак}} \quad (12)$$

мұндағы T - болаттың қыздыру температурасы, $t_{\text{наг}}$ - қыздыру уақыты, $t_{\text{зак}}$ - электролит ағынында сөндіру уақыты, U - кернеу [23].

Эксперименталды түрде анықталған оңтайлы қатайту режимдері ЭПБ әдісі ($t_{\text{наг}} = 4$ сек., $t_{\text{зак}} = 4$ сек., $U = 200$ В) белгіленген тәуелділікпен жақсы байланысты болды (12). 30 цикл үшін плазма бетіне ені 8-12 мм қатайтылған жолақтар қалдырады, олар қатайтылған бетінде кездейсоқ қабаттасады. Олар «құбылма түстерімен» боялған, яғни модификацияланған қабаттың жұқа қабығымен жабылған, олар бетінің кедір-бұдырына айтарлықтай әсер етпейді [24].

Болат 20Х микроқұрылымы, МемСТ 33260-2015 (207 Steel) бастапқы күйінде (7-сурет), ірі түйірлі перлит-феррит құрылымы.

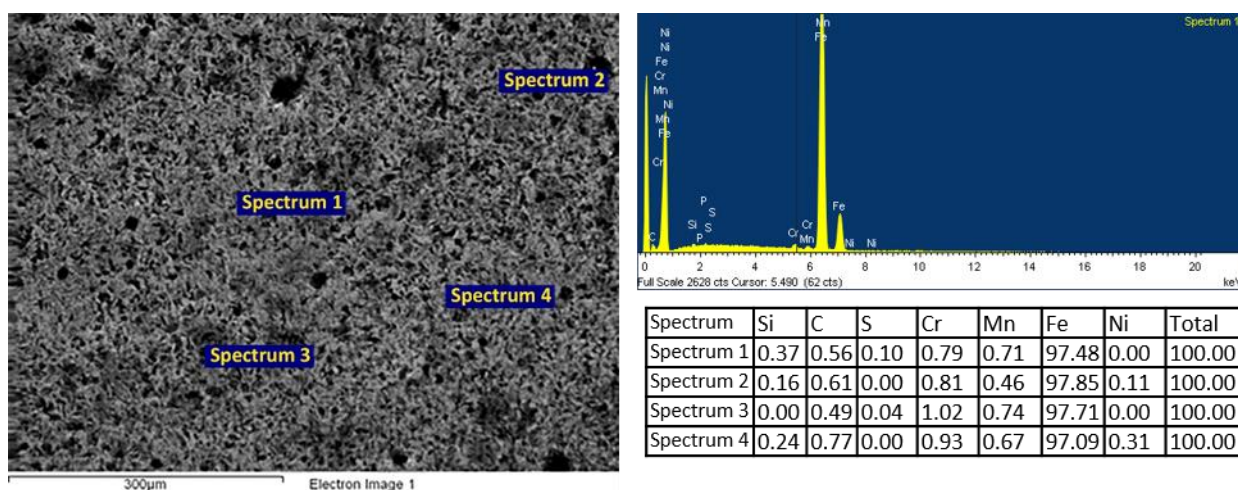


Сурет 7. Бастапқы күйдегі 20Х болаттың, МемСт 33260-2015 (207 Steel), растрлық элементтік талдау

Феррит пен цементиттің α -фазасын құрайтын перлит түйірлерінің шекаралары феррит α -Fe құрылымының түйірлерінен нақты бөлінген. Хром, марганец, никель және сицилийдің легіріленген элементтері микроқұрылымда айқын көрінбейді, мүмкін олар өте аз мөлшерде болуымен байланысты [25]. Болат 20Х, МемСТ 33260-2015 (207 Steel), элементтік құрамының нәтижелері, төрт спектр бойынша анықталған, олар орта есеппен 20Х болаттың, МемСТ 33260-2015 (207 Steel), химиялық құрамына сәйкес келеді.

Электролитті плазмалық беріктендіруден кейін үлгіні электронды микроскопиялық зерттеу (8-сурет), микроқұрылым аустениттің ыдырауының біркелкі морфологиясы екенін анықтауға мүмкіндік берді [26]. Электролиттегі беріктендіру жылдамдығы өте жоғары екенін атап өткен жөн, бұл жұмсақ құрылымдар қалыптастыру үшін перлит механизмі арқылы аустениттің ыдырауына жол бермейді. Бірақ мартенситтік түрлену аралығында олар құлайды, бұл шыңдалған жарықтардың алдын алуға мүмкіндік береді [27].

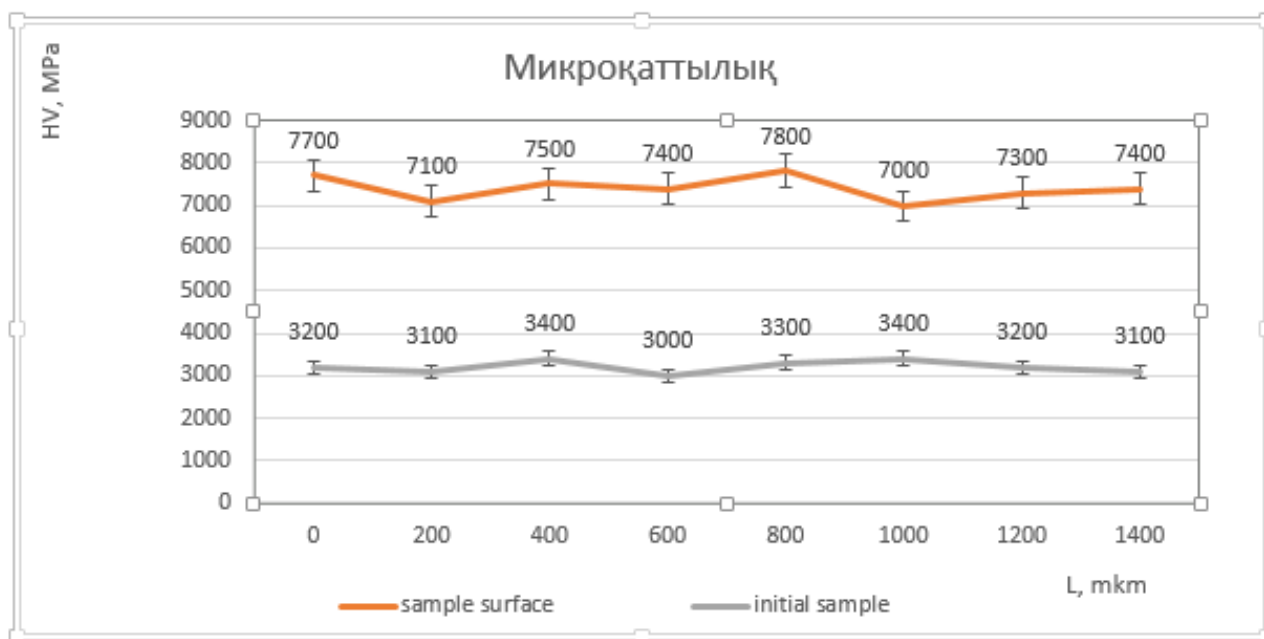
Элементтік талдау (8-сурет), электролитті-плазмалық беріктендіруден кейін бастапқы күйге қатысты көміртектің жоғарылауы байқалатынын көрсетеді, 7-сурет. Салыстырмалы түрде көп мөлшерде көміртектің болуы - орташа есеппен $C \sim 0,6$, электролитте кальцийленген соданың ыдырау элементтерімен және анодтың тот баспайтын болатымен қанығуымен байланысты [28].



Сурет 8. ЭПБ кейін 20Х болаттың, МемСТ 33260-2015 (207 Steel), растрлық элементті талдау

Ұсақ бөлшектер темір карбиді және басқа легіріленген элементтер болып табылады [29].

Ұштасатын ішкі диаметр бойынша сына бағаналарының орамасының плашкалары мұнай өнімдерінің жоғары қысымының герметикалығын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, кескіш сегменттердің өздері құбырдың аузын тығыз қысу кезінде жоғары ішкі кернеулерді сезінеді. Сондықтан, бәсеңдетуші өзегі бар түйісетін беттің жоғары қаттылығы өте маңызды көрсеткіш болып табылады. Микроқаттылықты өлшеу үлгі бойынша бастапқы күйінде және электролиттік-плазмалық өңдеуден кейін жүргізілді. Өлшеу нәтижелері (сурет 9) электролиттік-плазмалық сөндіруден кейін микроқаттылық екі еседен астам өскенін көрсетеді: шамамен HV3212-ден HV7400 МПа-ға дейін.



Сурет 9. 20Х болаттың микроқаттылығының мәні

Электролитті плазмалық қатайту әдісімен қатайтылған плашка бетінің микроқаттылығының орташа мәні 54-60 HRC сәйкес келеді, бұл дәстүрлі әдіспен алынған 42-48 HRC қаттылығынан едәуір асады [30].

Қорытынды

1) сына бағандарын байлау кесінділерінің сегментін электролитті-плазмалық беріктендіруге арналған тәжірибелік қондырғы әзірленді.

2) электролитті-плазмалық беріктендірілген үлгілердің микроқұрылымы болаттың құрылымдық-фазалық түрленуін, аустениттің, карбид фазаларының түрлендірілген бетінде болжамды ыдырауының болуын куәландырды.

3) растрлық элементтік талдау электролит пен тот баспайтын анод болатының иондалған ыдырауынан қаныққан бастапқы күйге қатысты ~0,6 дейін қатайтылған бетіндегі көміртектің артуын анықтады.

4) микроқаттылықтың мәнін өлшеу электролиттік-плазмалық шынығудан кейін бастапқы күйден орта есеппен HV3212-ден HV7400 МПа-ға дейін екі еседен астам жоғарылағанын көрсетеді.

5) сөндірудің температуралық әсерінің математикалық моделі әзірленді, бөлшектің қыздыру температурасының негізгі факторлардан: қыздыру уақытынан; электролит ағынындағы сөндіру уақытынан және кернеуден регрессия формуласы шығарылды.

Мақала ЖТН АР09058518 «Машина жасау саласында электролитті-плазмалық модификациялаумен материалдардың тозуға төзімділігін арттыру» гранттық жобаны жүзеге асыру аясында "ҚР БҒМ Ғылым комитеті" қаржылық қолдауымен жазылды.

Әдебиеттер тізімі

1. Pogrebnyak, A.D., Kaverina A.S., Kylyshkanov M.K. Electrolytic plasma processing for plating coatings and treating metals and alloys // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. - 2014. - Vol.50. - P.72-87.

2. Кылышканов М.К., Комбаев К.К., Погребняк А.Д. Способ электролитно-плазменного упрочнения деталей бурового долота // Пат. 23178 РК. МПК C21D1/78(2009.01), C21D 1/34 (2009.01). Дата подачи 06.05.2009г., зарегистрировано 20.09.2010г.

3. Meletis, E. I. et al. Electrolytic plasma processing for cleaning and metal-coating of steel surfaces // Surface and Coatings Technology. - 2002. - Vol.150. - P.246-256.

4. Doudkin M., Kombayev K., Kim A.I., Azamatov B., Azamatova Z. Research of cutting temperature reducing of titanium alloy grade 5 below polymorphic transformation depending on calculation of cutting modes// International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. - 2020. - Vol.10. - Is.2. - P.747-758.

5. Wan Y. G., Junping L., Guo J. H., Hai Q., Yuning L. and Hui Z. Electrolytic plasma processing-an innovative treatment for surface modification of 304 stainless steel// Scientific reports. - 2017. - Vol.7 - P.1-7.

6. Kombayev K. K., Doudkin M.V., Kim A. I., Mlynczak M., Rakhadilov B. K. Surface hardening of the aluminum alloys Al3 by electrolytic-plasma treatment // News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. - 2019. - Vol.4. - №.436. - P.222-229.

7. Wang B., Xue W.B., Wu J., Jin X.Y., Hua M. Characterization of surface hardened layers on Q235 low-carbon steel treated by plasma electrolytic borocarburing // Journal of Alloys and Compounds. - 2013. №578. - P.162-169.

8. Kozha E., Smagulov D.U., Akhmetova G.E., Kombayev K.K. Laboratory installation for

electrolytic-plasma treatment of steel // NEWS of national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. - 2017. - Vol.4. - P.219-225.

9. ASTM E1558-09(2014), Standard Guide for Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens, ASTM International, West Conshohocken. - 2014.
<https://webstore.ansi.org/standards/astm/astme1558092014/> (Дата обращения: 18.10.2021).

10. Jiang Y.F., Bao Y.F., Yang K. Effect of C/N concentration fluctuation on formation of plasma electrolytic carbonitriding coating on Q235 // Journal of Iron Steel Research. - 2012. - Vol.19. - №11. - P.39-45.

11. Rakhadilov B.K., Sagdoldina Zh.B., Ocheredko I.A., Kombayev K.K. Khassenov A.K. Impact research of electron beam processing on the structure and properties of PA6 polyamide // Eurasian Physical Technical Journal, Materials science. - 2019. -Vol.16. - №2(32). - P.43-47.

12. Wu J., Xue W., Wang B. et al. Characterization of carburized layer on T8 steel fabricated by cathodic plasma electrolysis // Surface and Coatings Technology. - 2014. - V. 245. - P. 9-15.

13. Pogrebnyak A.D., Kaverina A.S. Electrolytic plasma processing for plating coatings and treating metals and alloys// Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. - 2014. - Vol.50. - P.72-87.

14. Alavi S.H., Dehghanian C., Taheri P. Investigation of corrosion behaviour of carbon steel coated by pulsed plasma electrolytic boronising technique in 35 wt-% NaCl aqueous solution // Surface engineering. - 2011. - №27. - P.509-514.

15. Wang B., Jin X.Y., Xue W.B., Wu Z.L., Du J.C, Wu J. High temperature tribological behaviors of plasma electrolytic borocarbured Q235 low-carbon steel //Surface and Coatings Technology. - 2013. - №232. - P.142-149.

16. Wu J., Xue W., Jin X., et al. Preparation and characterization of diamond-like carbon/oxides composite film on carbon steel by cathodic plasma electrolysis //Applied Physics Letters. - 2013. - Vol.103.

17. Luk, S.F., Leung, T.P., Miu, W.S., Pashby, I. Development of electrolytic heat-treatment in aqueous solution// Journal of Materials Processing Technology. - 1998. - №84. - P.189-192.

18. Jiang Y.F., Geng T., Bao Y.F. Electrolyte-electrode interface and surface characterization of plasma electrolytic nitrocarburizing // Surface and Coatings Technology. - 2013. - Vol.216 - P.232-236.

19. Kong J.H., Takeda T., Okumiya M. et al. The Study about Surface Modification of Steel by Water Plasma // 13th International Conference on Plasma Surface Engineering, September 10-14 in Garmisch-Partenkirchen, Germany. - 2012. - P.157-160.

20. Kusmanov S.A., Dyakov I.G., Kusmanova Yu.V. Surface modification of low-carbon steels by plasma electrolytic nitrocarburizing // Plasma Chemistry and Plasma Processing. - 2016. - Vol.36. - P.1271-1286.

21. Cenk Kumruoğlu, L., Özel A. Surface Modification of AISI 4140 Steel Using Electrolytic Plasma Thermocyclic Treatment // Materials and Manufacturing Processes. - 2010. - Vol.25. - P.923-931.

22. Dewan, M.W., Liang J., Wahab M.A., Okeil A.M. Effect of post-weld heat treatment and electrolytic plasma processing on tungsten inert gas welded AISI 4140 alloy steel // Materials & Design. - 2014. - Vol.54. - P.6-13.

23. Zarchi M.K., Shariat M.H., Dehghan S.A., Solhjoo S. Characterization of nitrocarburized surface layer on AISI 1020 steel by electrolytic plasma processing in an urea electrolyte // Journal of Materials Research and Technology. - 2013. - Vol.2. - №3. - P. 213-220.

24. Rastkar A.R., Shokri B. Surface modification and wear test of carbon steel by plasma electrolytic nitrocarburizing // Surface and Interface Analysis. - 2012. – No.44. - P. 342-351.

25. Pogrebnyak, A.D., Kulmenteva O.P., Kobzev A.P., Tyurin Y.N., Boiko A.G. Mass transfer and doping during electrolyte-plasma treatment of cast iron// Technical Physics Letters. - 2003. - Vol.29. - P.312-315.

26. Tavakoli H., Mousavi Khoie S.M., Hosseini S.A. Characterization of submicron-size layer produced by pulsed bipolar plasma electrolytic carbonitriding // Journal of Alloys and Compounds. - 2014. - №583. - P.382-389.

27. Pang H., Zhang G.-L., Wang X.Q., Lv G.-H. Mechanical Performances of Carbonitriding Films on Cast Iron by Plasma Electrolytic Carbonitriding // Chinese Physics Letters. - 2011. - Vol.28. - №11. - P.103-118.
28. Mahzoon F., Behgozin S.A., Javadpour S. Study the fatigue-wear behavior of a plasma electrolytic nitrocarburized (PEN/C) 316L stainless steel // Journal of Materials Engineering and Performance. - 2012. - Vol.21. - №8. - P.1751-1756.
29. Cenk Kumruoglu L., Yerokhin A., Ozel A., Matthews A. Effect of nitrogen gas addition onto the process of plasma electrolytic nitrocarburising of AISI 316L stainless steel // Proceed. 1st ISTS International Surface Treatment Symposium, Istanbul. - 2011. - P.295-310.
30. Lin N., Xie R., Zhou P., Ma Y., Wang Z., Han P., Wang Z., Tang B. Review on improving wear and corrosion resistance of steel via plasma electrolytic saturation // Surface Review and Letters. - 2016. - Vol.23. - №4. - P.163-168.

К.К.Комбаев¹, Р.Б. Ахмадиев², А.Б. Касенова¹, Д.С.Елеманов¹, Г.М.Токтарбаева¹, Г.С. Сыпайнова¹

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан

²АО Усть-Каменогорский завод промышленной арматуры, Усть-Каменогорск, Казахстан

Упрочнение стали 20Х обвязки колонн клиновых электролитно-плазменной закалкой

Аннотация. Мировой спрос на нефтегазовую продукцию вызвал заметные качественные и количественные изменения в применяемых технологических процессах изготовления деталей и оборудования для добычи и транспортировки нефтепродуктов. Казахстан является крупнейшей нефтедобывающей страной мира, поэтому развитие прогрессивной технологии производства нефтегазового оборудования может стимулировать промышленный и экономический рост. Традиционные технологии упрочнения ответственных деталей обвязки колонн клиновых (ОКК) являются энергозатратными и трудоемкими, хотя используются во многих промышленных предприятиях. Для научного исследования химико-термического упрочнения низкоуглеродистой легированной плашки из стали 20Х, GOST 33260-2015 (207 Steel) обвязки колонн клиновых разработана экспериментальная установка электролитно-плазменного упрочнения. Экспериментальные исследования электролитно-плазменного упрочнения проводили в различных режимах обработки. Описана зависимость вольт-амперной характеристики высокоскоростного нагрева детали от температуры ионизированной электролитной плазмы. Процессы теплопереноса нагрева и закалки в электролите описаны математической моделью, выведена формула регрессии. Определены основные параметры электролитно-плазменного упрочнения, выведены оптимальные режимы обработки. Растровый элементный анализ свидетельствует о поверхностной модификации углеродом упрочняемого слоя низкоуглеродистой легированной стали. Метод электролитно-плазменного упрочнения позволяет локально закалить сопрягаемые рабочие поверхности плашки ОКК. Исследовали результаты изменения микроструктуры, повышения твердости относительно исходного состояния.

Ключевые слова: электролитно-плазменное упрочнение, закалка, твердость, математическая модель, локальная обработка.

K.K.Kombaev¹, R.B. Ahmadiyev², A.B. Kassenova¹, D.S.Elemanov¹, G.M.Toktarbaeva¹, G.S. Sypainova¹

¹D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

²AO Ust-Kamenogorsk Industrial Fittings Plant, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

Strengthening of the steel 20X of the binding of wedge columns by electrolyte-plasma hardening

Abstract. The global demand for oil and gas products has caused noticeable qualitative and quantitative changes in the applied technological processes for manufacturing parts and equipment for the extraction and transportation of petroleum products. Kazakhstan is the largest oil-producing country in the world, so the development of advanced technology to produce oil and gas equipment can stimulate industrial and economic growth. Traditional technologies for hardening critical parts of wedge string piping (WSP) are energy-intensive and labor-intensive, although they are used in many industrial enterprises. For the scientific study of the chemical-thermal hardening of a low-carbon alloyed slab, there was developed an experimental installation for electrolytic-plasma hardening made of steel 20X, GOST 33260-2015 (207 Steel), tying the wedge columns, an. Experimental studies of electrolytic-plasma hardening were carried out in various processing modes. The article describes dependence of the current-voltage characteristic of high-speed heating of a part on the temperature of the ionized electrolyte plasma. The article highlights the heat transfer processes of heating and hardening in the electrolyte by a mathematical model, and a regression formula. The article describes the main parameters of electrolytic-plasma hardening, and optimal processing modes. Raster elemental analysis indicates surface modification of the hardened layer of low-carbon alloy steel by carbon. The method of electrolytic-plasma hardening makes it possible to locally harden the mating working surfaces of the WSP die. The article investigates results of changing the microstructure and increasing the hardness relative to the initial state.

Keywords: Electrolyte-plasma hardening, hardening, hardness, mathematical model, local processing.

References

1. Pogrebnyak, A.D., Kaverina A.S., Kylyshkanov M.K. Electrolytic plasma processing for plating coatings and treating metals and alloys // *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. - 2014. - Vol.50. - P.72-87.
2. Kylyshkanov M.K., Kombaev K.K., Pogrebnyak A.D. Method of electrolyte-plasma hardening of drill bit parts // *Pat. 23178 RK. IPC C21D1/78(2009.01), C21D 1/34(2009.01)*. Filing date 06.05.2009, registered 20.09.2010.
3. Meletis, E. I. et al. Electrolytic plasma processing for cleaning and metal-coating of steel surfaces // *Surface and Coatings Technology*. - 2002. - Vol.150. - P. 246–256.
4. Doudkin M., Kombayev K., Kim A.I., Azamatov B., Azamatova Z. *Research of cutting temperature reducing of titanium alloy grade 5 below polymorphic transformation depending on calculation of cutting modes // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*. - 2020. - Vol.10. - Is.2. - P.747–758.
5. Wan Y. G., Junping L., Guo J. H., Hai Q., Yuning L. and Hui Z. Electrolytic plasma processing-an innovative treatment for surface modification of 304 stainless steel // *Scientific reports*. - 2017. - Vol.7 - P.1-7.
6. Kombayev K. K., Doudkin M.V., Kim A. I., Mlynczak M., Rakhadilov B. K. Surface hardening of the aluminum alloys Al3 by electrolytic-plasma treatment// *News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*. - 2019. - Vol.4. - №436. - P.222–229.
7. Wang B., Xue W.B., Wu J., Jin X.Y., Hua M. Characterization of surface hardened layers on Q235 low-carbon steel treated by plasma electrolytic borocarburing // *Journal of Alloys and Compounds*. -

2013. - №578. - P.162-169.

8. Kozha E., Smagulov D.U., Akhmetova G.E., Kombayev K.K. Laboratory installation for electrolytic-plasma treatment of steel // NEWS of national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. - 2017. - Vol.4. - P.219-225.

9. ASTM E1558-09(2014), Standard Guide for Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens, ASTM International, West Conshohocken. - 2014.
<https://webstore.ansi.org/standards/astm/astme1558092014/> (Accessed: 18.10.2021).

10. Jiang Y.F., Bao Y.F., Yang K. Effect of C/N concentration fluctuation on formation of plasma electrolytic carbonitriding coating on Q235 // Journal of Iron Steel Research. - 2012. - Vol.19. - №11. - P.39-45.

11. Rakhadilov B.K., Sagdoldina Zh.B., Ocheredko I.A., Kombayev K.K. Khassenov A.K. Impact research of electron beam processing on the structure and properties of PA6 polyamide // Eurasian Physical Technical Journal, Materials science. - 2019. - Vol.16. - №2(32). - P.43-47.

12. Wu J., Xue W., Wang B. et al. Characterization of carburized layer on T8 steel fabricated by cathodic plasma electrolysis // Surface and Coatings Technology. - 2014. - Vol.245. - P.9-15.

13. Pogrebnyak A.D., Kaverina A.S. Electrolytic plasma processing for plating coatings and treating metals and alloys // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. - 2014. - Vol.50. - P.72-87.

14. Alavi S.H., Dehghanian C., Taheri P. Investigation of corrosion behaviour of carbon steel coated by pulsed plasma electrolytic boronising technique in 35 wt-% NaCl aqueous solution // Surface engineering. - 2011. - №27. - P.509-514.

15. Wang B., Jin X.Y., Xue W.B., Wu Z.L., Du J.C., Wu J. High temperature tribological behaviors of plasma electrolytic borocarbureted Q235 low-carbon steel // Surface and Coatings Technology. - 2013. - №232. - P.142-149.

16. Wu J., Xue W., Jin X., et al. Preparation and characterization of diamond-like carbon/oxides composite film on carbon steel by cathodic plasma electrolysis // Applied Physics Letters. - 2013. - Vol.103.

17. Luk, S.F.; Leung, T.P.; Miu, W.S.; Pashby, I. Development of electrolytic heat-treatment in aqueous solution // Journal of Materials Processing Technology. - 1998. - №84. - P.189-192.

18. Jiang Y.F., Geng T., Bao Y.F. Electrolyte-electrode interface and surface characterization of plasma electrolytic nitrocarburizing // Surface and Coatings Technology. - 2013. - Vol.216 - P.232-236.

19. Kong J.H., Takeda T., Okumiya M. et al. The Study about Surface Modification of Steel by Water Plasma // 13th International Conference on Plasma Surface Engineering, September 10-14 in Garmisch-Partenkirchen, Germany. - 2012. - P. 157-160.

20. Kusmanov S.A., Dyakov I.G., Kusmanova Yu.V. Surface modification of low-carbon steels by plasma electrolytic nitrocarburizing // Plasma Chemistry and Plasma Processing. - 2016. - Vol.36. - P.1271-1286.

21. Cenk Kumruoğlu, L., Özel A. Surface Modification of AISI 4140 Steel Using Electrolytic Plasma Thermocyclic Treatment // Materials and Manufacturing Processes. - 2010. - Vol.25. - P.923- 931.

22. Dewan, M.W., Liang J., Wahab M.A., Okeil A.M. Effect of post-weld heat treatment and electrolytic plasma processing on tungsten inert gas welded AISI 4140 alloy steel // Materials & Design. - 2014. - Vol.54. - P.6-13.

23. Zarchi M.K., Shariat M.H., Dehghan S.A., Solhjoo S. Characterization of nitrocarburized surface layer on AISI 1020 steel by electrolytic plasma processing in an urea electrolyte // Journal of Materials Research and Technology. - 2013. - Vol.2. - №3. - P.213-220.

24. Rastkar A.R., Shokri B. Surface modification and wear test of carbon steel by plasma electrolytic nitrocarburizing // Surface and Interface Analysis. - 2012. - №44. - P.342-351.

25. Pogrebnyak, A.D., Kulmenteva O.P., Kobzev A.P., Tyurin Y.N., Boiko A.G. Mass transfer and doping during electrolyte-plasma treatment of cast iron // Technical Physics Letters. - 2003. - Vol.29. - P.312-315.

26. Tavakoli H., Mousavi Khoie S.M., Hosseini S.A. Characterization of submicron-size layer

produced by pulsed bipolar plasma electrolytic carbonitriding // Journal of Alloys and Compounds. - 2014. - №583. - P. 382-389.

27. Pang H., Zhang G.-L., Wang X.Q., Lv G.-H. Mechanical Performances of Carbonitriding Films on Cast Iron by Plasma Electrolytic Carbonitriding // Chinese Physics Letters. - 2011. - Vol.28. - №11. - P.103-118.

28. Mahzoon F., Behgozin S.A., Javadpour S. Study the fatigue-wear behavior of a plasma electrolytic nitrocarburized (PEN/C) 316L stainless steel // Journal of Materials Engineering and Performance. - 2012. - Vol.21. - №8. - P.1751-1756.

29. Cenk Kumruoglu L., Yerokhin A., Ozel A., Matthews A. Effect of nitrogen gas addition onto the process of plasma electrolytic nitrocarburising of AISI 316L stainless steel // Proceed. 1st ISTS International Surface Treatment Symposium, Istanbul. - 2011. - P.295-310.

30. Lin N., Xie R., Zhou P., Ma Y., Wang Z., Han P., Wang Z., Tang B. Review on improving wear and corrosion resistance of steel via plasma electrolytic saturation // Surface Review and Letters. - 2016. - Vol.23.- №4. - P.163-168.

Авторлар туралы мәліметтер:

Комбаев К.К. – техника ғылымдарының кандидаты, машинажасау мектебінің доценті, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан.

Ахмадиев Р.Б. – АҚ «Өскемен өнеркәсіптік арматура зауытының» техникалық директоры, Өскемен, Қазақстан.

Касенова А.Б. – техника ғылымдарының магистрі, «VERITAS» озық даму орталығының инженер – зерттеушісі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан.

Елеманов Д.С. - ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, жер туралы ғылымдар мектебінің аға оқытушысы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан.

Токтарбаева Г.М. - техника ғылымдарының магистрі, келісімшарттық зерттеулер кеңсесінің бас маманы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан.

Сыпайнова Г.С. - техника ғылымдарының магистрі, жер туралы ғылымдар мектебінің оқытушысы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан.

Kombaev K.K. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the School of Mechanical Engineering, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

Akhmadiev R.B. - Technical Director of "Ust-Kamenogorsk Industrial Reinforcement Plant" JSC, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

Kassenova A.B. - Master of Technical Sciences, Research Engineer at the Center for Advanced Development "VERITAS", D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

Elemanov D.S. - Master of Agricultural Sciences, Senior Lecturer at the School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

Toktarbayeva G.M. - Master of Technical Sciences, Chief Specialist of the Contract Research Office, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

Sypainova G.S. - Master of Technical Sciences, lecturer at the School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

Р.Б. Кудабаяев¹, А.А. Джумабаев², У.С. Сулейменов¹, М.А. Камбаров¹,
Р.А. Риставлетов¹, Э.Н. Калшабекова¹

¹Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

E-mail: kudabaev_81@mail.ru, atagali@list.ru, ulanbator@inbox.ru, medet_2030@mail.ru, rar_1967@mail.ru, elmura-56@mail.ru

Математическая модель теплообмена при фазовом переходе теплоаккумулирующего материала

Аннотация. Применение парафинов в качестве аккумуляторов тепла в ограждающих конструкциях зданий затруднено в связи с достаточно высокой температурой их фазового перехода, малым коэффициентом теплопроводности, к тому же традиционные системы утепления с использованием теплоизоляционного материала в энергоактивных конструкциях являются малоэффективными. Для повышения энергоэффективности жилых зданий возникает необходимость разработки новых систем и конструкций ограждения с возможностями использования возобновляемых источников энергии для потребностей зданий и возмещения части тепла, затрачиваемого на отопление здания. Для этого необходимо изучить теплообменные процессы в конструкциях здания.

В данной статье приведены результаты изучения процессов фазового перехода теплоаккумулирующего материала в ограждающих конструкциях. Рассмотрены процессы фазового перехода теплоаккумулирующего материала в ограждающих конструкциях с учетом предпосылок и допущений, которые необходимы для упрощения математической модели процесса фазового перехода. Разработана математическая модель теплообмена при фазовом переходе теплоаккумулирующего материала, которая учитывает теплофизические свойства материала, толщину слоя фазового перехода и время ее образования, а также разность температур между температурой исходного состояния и температурой фазового перехода теплоаккумулирующего материала. Установлено, что плотность теплового потока изменяется от большого числа параметров от начального момента времени τ до времени процесса перехода в новую фазу τ_δ , и определено, что средняя плотность теплового потока в процессе плавления слоя теплоаккумулирующего материала в два раза больше, чем плотность теплового потока в момент времени, при котором граница раздела фаз переместится на расстояние δ .

Ключевые слова: энергоактивная ограждающая конструкция, теплоаккумулирующие материалы, теплообмен, фазовый переход, теплофизические свойства, тепловой поток, теплоснабжение, системы утепления зданий, возобновляемые источники энергии, толщина слоя фазового перехода.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-139-2-102-110

Введение

В настоящее время дополнительное утепление зданий осуществляют с использованием различных конструктивно-технологических решений ограждения. Однако эти решения часто принимаются без должного обоснования с позиций строительной теплотехники, что приводит не к экономии энергоресурсов, а, наоборот, их расходованию.

В связи с этим возникает необходимость в разработке новых конструктивных решений ограждающих конструкций, которые не только имеют улучшенные теплозащитные свойства, но и

способных аккумулировать тепловую энергию. Наибольшее распространение для аккумулирования теплоты в технике нашли теплоаккумулирующие материалы на основе парафинов с фазовым переходом «твердое тело - жидкость», позволяющие накапливать относительно большое количество тепла в диапазоне комнатной температуры [1]. Однако теплоаккумулирующие материалы в ограждающих конструкциях применения не нашли. Поэтому сейчас широко разрабатываются новые конструктивные решения ограждающих конструкций со слоями из теплоаккумулирующего материала с фазовым переходом с целью повышения эффективности ограждения и исследования их теплофизических свойств с учетом аккумулирующей способности слоя ограждения.

Сравнительный анализ теплофизических свойств термоаккумулирующих материалов фазового перехода показал, что наиболее приемлемым для практического использования в аккумуляторах тепла являются парафины [2]. Однако применение их в ограждающих конструкциях зданий связано с трудностями, связанными с достаточно высокой температурой фазового перехода, малым коэффициентом теплопроводности.

Системы теплоснабжения в жилых и общественных зданиях отличаются периодическим характером работы источника теплоты. При этом температура воздуха в помещениях может колебаться в пределах 3...5°C из-за тепловой инерционности ограждающих конструкций зданий [3]. Вместе с тем максимальное потребление энергии приходится на дневное время, когда устанавливается комфортная температура (20-22°C). Анализ современных энергоактивных конструкций ограждения показывает, что традиционные системы утепления с использованием теплоизоляционного материала являются малоэффективными. Характер энергосбережения в конструкциях ограждения носит пассивный характер. Для повышения энергоэффективности жилых зданий возникает необходимость разработки новых систем и конструкций ограждения с возможностями использования возобновляемых источников энергии для потребностей зданий и возмещения части тепла, затрачиваемого на отопление здания. Для этого необходимо изучить теплообменные процессы в конструкциях здания [3,4].

Методы исследования

При проведении теоретических исследований использованы стандартные методы теплотехнического расчета ограждающих конструкций зданий с теплотехническими неоднородностями (воздушными прослойками) и методика расчета температурных полей в энергоактивной ограждающей конструкции.

Для изучения процессов теплообмена при фазовом переходе теплоаккумулирующего материала в энергоактивных ограждающих конструкциях разработана математическая модель, которая учитывает теплофизические свойства материала, толщину слоя фазового перехода и время ее образования, а также разность температур между температурой исходного состояния и температурой фазового перехода теплоаккумулирующего материала.

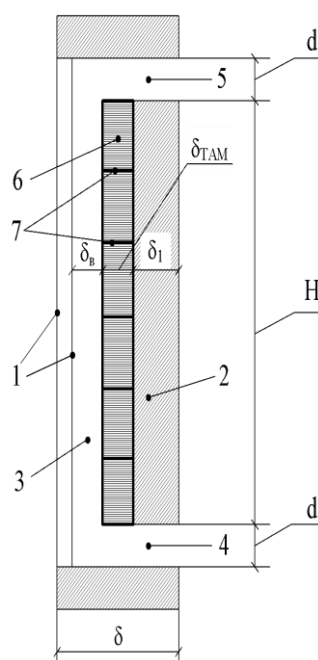
Обсуждение

Для изучения теплообменных процессов исследована энергоактивная ограждающая конструкция со следующими параметрами (таблица 1).

Таблица 1 - Параметры энергоактивной ограждающей конструкций

Параметр	Схема 3
Толщина несущего слоя, δ_1 , мм	300
Толщина энергоактивной панели, $\delta_{там}$, мм	100
Ширина зазора воздуха, δ_v , мм	120

Толщина оконного стекла δ_{gl} , мм	4
Расстояние между стеклами, $\delta_{в gl}$, мм	12
Толщина инклюзивов, мм	2
Высота энергоактивной панели H , мм	1400
Материал несущего слоя	кирпичная кладка
Материал высокотеплопроводящих инклюзивов	сталь
Теплопроводность ТАМ, Вт/(м·К)	0,26
Теплоемкость ТАМ, кДж/(кг·К)	3
Плотность ТАМ, кг/м ³	900
Температура плавления ТАМ, °С	28–41
Удельная теплота плавления ТАМ, кДж/кг	200



1 – стеклопакет, 2 – несущий слой, 3 – воздушный зазор, 4 – подводный канал,
5 – отводящий канал, 6 – ТАМ, 7 – высокотеплопроводящие инклюзивы

Рисунок 1 - Энергоактивная ограждающая конструкция

Рассмотрим процесс фазового перехода теплоаккумулирующего материала в ограждающих конструкциях, представляя геометрию слоя, в соответствии с целью исследования, плоской. При этом учтем следующие предпосылки и допущения, которые необходимы для упрощения математической модели процесса фазового перехода. Агрегатное состояние теплоаккумулирующего материала в толще слое будем рассматривать в виде прослойки твердой и жидкой фазы. Будем считать, что переход из одной фазы в другую сопровождается конвективным теплообменом и теплопроводностью (кондуктивный теплообмен).

Учет увеличения интенсивности теплообмена в жидкой фазе теплоаккумулирующего материала по сравнению с теплопроводностью производим посредством использования коэффициента конвекции [6]:

$$\varepsilon = 0,18(G_{\gamma} \cdot P\gamma)^{0,25} \quad (1)$$

Интенсивность поглощения теплоты при фазовом переходе материала существенно превышает подвод тепла из нее за счет теплопроводности (кондуктивным теплообменом), поэтому будем считать, что размеры зоны фазового перехода стремятся к минимуму.

Процесс фазового перехода термоаккумулирующего материала осуществляется в малом объеме. В этом объеме фазового превращения тепловой поток Q_1 , проходящий от поверхности раздела в другой фазовый переход, будет определяться выражением

$$Q_1 = q_\phi + q_2$$

где q_ϕ - тепловой поток через слой фазового перехода, q_2 - тепловой поток, подводимый из исходной фазы к поверхности слоя с фазовым переходом.

В начальной, исходной фазе градиент температуры можно принять равным нулю. Тогда тепловой поток, проводимый из исходной фазы, будет примерно равен нулю $q_2 \approx 0$. Считается, что градиент температуры в новой фазе будет зависеть от характера распределения температур. В плоском слое ограждения распределение температур на поверхностях слоя принимается линейным. Отметим, что градиент температур в новой фазе можно принять равным градиенту температур при стационарной безфазовой теплопроводности.

Для плоскостей теплового потока q_ϕ фазового перехода и потока q_2 , подводимого к поверхности слоя фазового перехода будут справедливыми, согласно [7, 8], следующие формулы:

$$q_\phi = \gamma \cdot \rho_1 \cdot \frac{dx}{d\tau}; \quad (2)$$

$$q_2 = -\lambda_2 \cdot \frac{dt_2}{dx} \Big|_{x=L_2} \quad (3)$$

где γ - удельная теплота фазового перехода; ρ_1 - плотность начальной фазы; $\frac{dx}{d\tau}$ - скорость распространения новой фазы; $\frac{dt_2}{dx}$ - градиент температуры в начальной фазе.

Плотность теплового потока в новой фазе будет равна:

$$q_1 = -\lambda_1 \cdot \frac{dt_1}{dx} \Big|_{x=\delta} \quad (4)$$

где λ_1 - коэффициент теплопроводности термоаккумулирующего материала; $\frac{dt_1}{dx}$ - градиент температуры в новой, измененной фазе.

Заменим градиент температуры средним градиентом по толщине δ - новой, измененной фазы

$$\frac{dt_1}{dx} \Big|_{x=\delta} = \frac{t_3 - t_{w1}}{\delta}, \quad (5)$$

где t_3, t_{w1} - температуры фазового перехода и охлаждающей среды.

Приравнивая правые части уравнения (2) и (4) и учитывая (5) получим следующее обыкновенное дифференциальное уравнение:

$$\delta \cdot d\delta = \frac{\lambda_1 \cdot (t_3 - t_{w1}) dt}{\gamma \cdot \rho_1} \quad (6)$$

Интегрируя уравнение (6) в пределах толщины слоя в новой фазе δ и времени его образования τ

$$\int_0^\delta \delta \cdot d\delta = \frac{\lambda_1}{\gamma \cdot \rho_1} (t_3 - t_{w1}) \int_0^\tau d\tau, \quad (7)$$

Получим соотношение между толщиной слоя новой фазы, временем ее образования, разностью температур и теплофизическими свойствами теплоаккумулирующего материала в виде:

$$\delta = \sqrt{\frac{2\lambda_1 \cdot (t_3 - t_{w1}) \tau}{\gamma \cdot \rho_1}} = \sqrt{\frac{2a_1 \cdot c_1 (t_3 - t_{w1}) \cdot \tau}{\gamma}} \quad (8)$$

где a_1 - коэффициент температуропроводности новой фазы, c_1 - удельная теплоемкость новой фазы.

Из соотношения (8) может быть найдено время образования новой фазы в зависимости от толщины слоя новой фазы, разности температур и теплофизических свойств теплоаккумулирующего материала в виде:

$$\tau = \frac{1}{2} \frac{\gamma \rho_1 \delta^2}{\lambda_1 (t_3 - t_{w1})} = \frac{1}{2} \frac{\gamma \delta^2}{a_1 c_1 (t_3 - t_{w1})} \quad (9)$$

Подставив в выражение плотности теплового потока (4) значение δ из формулы (8) и учитывая условие (5) можно получить выражение для теплового потока

$$q = \frac{\lambda \Delta t}{\delta} = \sqrt{\frac{ac \cdot \rho^2 \Delta t \cdot \nu}{2\tau}} \quad (10)$$

Характер формулы (10) показывает, что плотность теплового потока изменяется от большого числа параметров от начального момента времени τ до времени процесса перехода в новую фазу τ_δ .

Средняя за время процесса фазового перехода материала плотность теплового потока может быть определена интегрированием по толщине слоя δ :

$$q_\phi = \frac{1}{\tau_\delta} = \sqrt{\frac{\lambda \cdot \nu \rho \Delta T}{2}} \int_0^\delta \frac{dt}{\sqrt{\tau}} = 2 \sqrt{\frac{\lambda \nu \rho \Delta T}{2\tau_\delta}} \quad (11)$$

Результаты

Сравнение формул (10) и (11) показывает, что средняя плотность теплового потока в процессе

плавления слоя теплоаккумулирующего материала в два раза больше, чем плотность теплового потока в момент времени, при котором граница раздела фаз переместится на расстояние δ .

Выводы

Представленная математическая модель теплообмена при фазовом переходе теплоаккумулирующего материала учитывает теплофизические свойства материала, толщину слоя фазового перехода и время ее образования, а также разность температур между температурой исходного состояния и температурой фазового перехода теплоаккумулирующего материала.

Список литературы

1. Aimbetova I.O., Suleimenov U.S., Kostikov O.A., Ristavletov R.A. Development of heat storage materials based on commodity paraffins //News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. – 2020. - № 6(444). – P. 6-13. <https://www.scopus.com/sourceid/21100781874> CiteScore 2019=0,8. Earth and Planetary Sciences - 26 процентиль, H Index-7, Scopus. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.124>
2. Aimbetova I.O., Suleimenov U., Ristavletov R., Baigenzhenov O. Study of shrinkage of heat storage materials for building envelope structures //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE). – 2020. - 62-66 pp. <https://www.scopus.com/sourceid/19700200831> CiteScore 2019=0,6. General Engineering - 25 процентиль, H Index-31, Scopus. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/862/6/062066>
3. Фраас А., Описик М. Расчет и конструирование теплообменников: учебник (пер. с англ.). – М.: Атомиздат, 2011. -356 с.
4. Протасевич А.М. Строительная теплофизика ограждающих конструкций зданий и сооружений: учебное пособие /Протасевич А.М. – Минск: Вышэйшая школа, 2015. - 240 с.
5. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С. Патанкар. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
6. СН РК 2.04-04-2011 «Тепловая защита зданий». Агентство Республики Казахстан по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства. – Астана, 2012. – 50 с.
7. Сотникова О.А. Экономическая эффективность использования солнечных систем горячего водоснабжения /О.А. Сотникова, Д.М. Чудинов //АВОК. – 2007 - № 2. – С. 88-94.
8. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. -М.: Энергия, 1980. -220с.

Р.Б. Құдабаев¹, А.А. Жумабаев², У.С. Сүлейменов¹, М.А. Қамбаров¹,
Р.А. Риставлетов¹, Э.Н. Калшабекова¹

¹М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Жылуаккумуляциялаушы материалдың фазалық ауысуы кезіндегі жылу берудің математикалық моделі

Аңдатпа. Парафиндерді құрылыс конструкцияларында жылу аккумуляторы ретінде қолдану олардың фазалық ауысу температураларының жоғары және жылуөткізгіштік коэффициентінің төмен болуына байланысты қиындық туғызады, сонымен қатар, энергиябелсенді конструкцияларда жылу оқшаулағыш материалды қолданатын дәстүрлі оқшаулау жүйелері тиімсіз болып табылады. Тұрғын үйлердің энергия тиімділігін жоғарылату үшін табиғаты белсенді және ғимараттардың қажеттіліктері үшін жаңартылатын энергия көздерін пайдалану

мүмкіндігіне ие, сонымен қатар жұмсалған жылудың бір бөлігін өтеуге мүмкіндік беретін жаңа жүйелер мен қоршау конструкцияларын жасау қажеттілігі туындайды. Ол үшін құрылыс конструкцияларындағы жылу алмасу процестерін зерттеу қажет.

Мақалада қоршау конструкцияларындағы жылу аккумуляциялайтын материалдың фазалық ауысу процестерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Қоршау конструкцияларындағы жылу аккумуляциялайтын материалдың фазалық ауысу процестері, фазалық ауысу процесінің математикалық моделін жеңілдеті үшін қажетті алғышарттар мен болжамдар ескерілген. Материалдың жылуфизикалық қасиеттерін, фазалық ауысу қабатының қалыңдығын және оның пайда болу уақытын, сондай-ақ температура айырмашылығын және бастапқы күй температурасы мен жылу сақтайтын материалдың фазалық ауысу температурасы арасындағы айырмашылықты ескеретін жылу аккумуляциялаушы материалдың фазалық ауысуы кезіндегі жылу беру математикалық моделі жасалды. Жылу ағынының тығыздығы уқыттың бастапқы сәтінен бастап жаңа фазаға ауысу уақытына дейін көптеген параметрлерден өзгертіндігі анықталды және жылу аккумуляциялаушы материал фаза шекарасы қашықтықты жылжитатын сәтте жылу ағынының тығыздығынан екі есе жоғары болады.

Кілт сөздер: энергетивті қоршау конструкциясы, жылу аккумуляциялаушы материалдар, жылу алмасу, фазалық ауысу, жылуфизикалық қасиеттер, жылу ағыны, жылумен жабдықтау, ғимараттарды оқшаулау жүйелері, жаңартылатын энергия көздері, фазалық ауысу қабатының қалыңдығы.

*R.B. Kudabaev¹, A.A. Jumabayev², U.S. Suleimenov¹, M.A. Kambarov¹,
R.A. Ristavletov¹, E.N. Kalshabekova¹*

¹M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

² L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Mathematical model of heat transfers during phase transition of heat storage material

Abstract. The use of paraffin as heat accumulators in building envelopes is difficult due to the rather high temperature of their phase transition, and low coefficient of thermal conductivity. Besides, traditional insulation systems using heat-insulating material in energy-active structures are ineffective. To improve the energy efficiency of residential buildings, it becomes necessary to develop new systems and structures of fencing, which is active in nature and can use renewable energy sources for the needs of buildings. It will also reimburse part of the heat spent on heating the building. For this, it is necessary to study the heat exchange processes in the building structures.

The article presents the results of studying the processes of phase transition of heat storage material in enclosing structures. The article considers processes of phase transition of heat storage material in enclosing structures, considering the prerequisites and assumptions. They are necessary to simplify the mathematical model of the phase transition process. The authors have been developed a mathematical model of heat transfer during the phase transition of a heat storage material, which considers the thermophysical properties of the material, the thickness of the phase transition layer and the time of its formation, as well as the temperature difference between the temperature of the initial state and the temperature of the phase transition of the heat storage material. It was found that the heat flux density varies in many parameters from the initial moment of time to the time of the process of transition to a new phase and it is determined that the average heat flux density during the melting of a layer of heat-accumulating material is two times higher than the heat flux density at the moment of time, at which the phase boundary will move a distance.

Keywords: energy-active enclosing structure, heat storage materials, heat exchange, phase transition, thermophysical properties, heat flow, heat supply, building insulation systems, renewable energy sources, phase transition layer thickness.

References

1. Aimbetova I.O., Suleimenov U.S., Kostikov O.A., Ristavletov R.A. Development of heat storage materials based on commodity paraffins //News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. – 2020. - № 6(444). – P. 6-13. <https://www.scopus.com/sourceid/21100781874> CiteScore 2019=0,8. Earth and Planetary Sciences - 26 процентиль, H Index-7, Scopus. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.124>
2. Aimbetova I.O., Suleimenov U., Ristavletov R., Baigenzhenov O. Study of shrinkage of heat storage materials for building envelope structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE). – 2020. - 62-66 pp. <https://www.scopus.com/sourceid/19700200831> CiteScore 2019=0,6. General Engineering - 25 процентиль, H Index-31, Scopus. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/862/6/062066>
3. Fraas A., Tsitsisik M. Calculation and design of heat exchangers (trans. from English). - M.: Atomizdat, 2011. -356 p.
4. Protasevich A.M. Construction thermophysics of enclosing structures of buildings and structures: textbook / Protasevich A.M. -Minsk: Vysheyschaya shkola, 2015. - 240 p.
5. Patankar S. Numerical methods for solving problems of heat transfer and fluid dynamics / S. Patankar. - M.: Energoatomizdat, 1984 - 152 p.
6. SN RK 2.04-04-2011 «Thermal protection of buildings». Agency of the Republic of Kazakhstan for Construction and Housing and Communal Services. - Astana, 2012. - 50 p.
7. Sotnikova, O. A. Economic efficiency of the use of solar systems of hot water supply/ O.A. Sotnikova, D.M. Chudinov // AVOK. – 2007 - №2. - pp. 88-94.
8. Mikheev M. A., Mikheeva I. M. Fundamentals of heat transfer. - M.: Energiya, 1980. – 220 p.

Сведение об авторах:

Кудабаяев Р.Б. - докторант по специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», Южно-Казахстанский университет им.М.Ауэзова, пр.Тауке-хана 5, Шымкент, Казахстан.

Джумабаев А.А. - д.т.н., профессор, Некоммерческое акционерное общество Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

Сулейменов У.С. - д.т.н., профессор кафедры «Архитектура», Некоммерческое акционерное общество Южно-Казахстанский университет им.М.Ауэзова, пр.Тауке-хана 5, г.Шымкент, Казахстан.

Камбаров М.А. - к.т.н., доцент кафедры «Технология строительных материалов, изделий и конструкций», Некоммерческое акционерное общество Южно-Казахстанский университет им.М.Ауэзова, пр.Тауке-хана 5, г.Шымкент, Казахстан.

Риставлетов Р.А. - к.т.н., доцент кафедры «Технология строительных материалов, изделий и конструкций», Некоммерческое акционерное общество Южно-Казахстанский университет им.М.Ауэзова, пр.Тауке-хана 5, г.Шымкент, Казахстан.

Калшабекова Э.Н. - к.т.н., доцент кафедры «Технология строительных материалов, изделий и конструкций», Некоммерческое акционерное общество Южно-Казахстанский университет им.М.Ауэзова, пр.Тауке-хана 5, г.Шымкент, Казахстан.

Kudabayev R.B. - Ph.D. student in Production of building materials, products and structures, M. Auezov. South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan.

Jumabayev A.A. - Doctor of Technical Sciences, Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Suleimenov U.S. - Professor of the Department "Architecture", Doctor of Technical Sciences, M. Auezov South Kazakhstan State University, 5, Tauke-khan Ave., Shymkent, Kazakhstan.

Kambarov M.A. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the "Technology of building materials, products and construction", M. Auezov. South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan.

Ristavletov R.A. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the "Technology of building materials, products and construction", M. Auezov, South Kazakhstan State University, 5 Tauke-khan Ave., Shymkent, Kazakhstan.

Kalshabekova E.N. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the "Technology of building materials, products and construction", M. Auezov, South Kazakhstan State University, 5 Tauke-khan ave., Shymkent, Kazakhstan.

О.В. Майборода¹, Г.К. Каленов², М.Б. Мустаяп³¹Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ), Москва, Россия²Казахский аграрно-технический университет им. С.Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан³Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан(E-mail: moo@bk.ru, kalenov_gk@mail.ru, mbm-kz@bk.ru)

Анализ путей уменьшения выбросов CO₂ транспортными средствами

Аннотация. Рассмотрены возможные способы уменьшения выбросов CO₂. Выбросы CO₂ снижаются пропорционально уменьшению эксплуатационного расхода топлива. Применение электромобилей не обнуляет выбросы CO₂, а только уменьшает их. Электроэнергию в основном генерируют тепловые электростанции. Уменьшая расход электроэнергии электромобилем, мы уменьшим выбросы CO₂ тепловыми электростанциями. В статье рассмотрены следующие способы уменьшения эксплуатационного расхода топлива автомобилями и электроэнергии электромобилями: ограничение избыточной мощности двигателей автомобилей и электромобилей; применение гибридных силовых установок; применение экономичных алгоритмов регулирования скорости автомобилей с двигателем внутреннего сгорания и электромобилей. Обращено внимание на необходимость разработки экономичного алгоритма регулирования скорости для электромобилей. Показано, что существующие конструкции автоматических трансмиссий и конструкции большинства электромобилей не позволяют использовать движение накатом для уменьшения эксплуатационного расхода топлива (электроэнергии). Показана необходимость сохранения разрешенной скорости легковых автомобилей на автомагистралях на уровне 110 км/ч. Рассмотрено влияние скользкости дорожного покрытия и интенсивности дорожного движения на среднюю и максимальную скорости транспортного потока. Гибкое регулирование максимальной скорости и ограничение возможности обгона увеличат время движения автомобиля с постоянной скоростью, что снизит расход топлива.

Ключевые слова: углеродный след, эксплуатационный расход топлива, экономичные алгоритмы регулирования скорости, управление транспортными потоками.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-139-2-111-118

Введение

Чтобы снизить выбросы CO₂, необходимо уменьшить эксплуатационный расход топлива. Вопреки распространенному мнению, электромобиль не является транспортным средством (ТС) с нулевым выбросом CO₂, поскольку большая часть электроэнергии генерируется на тепловых электростанциях. Уменьшение расхода электроэнергии электромобилем не менее важно еще по одной причине. Чем меньше эксплуатационный расход электроэнергии, тем больше запас хода электромобиля. Поэтому снижение эксплуатационного расхода электроэнергии так же актуально, как и уменьшение эксплуатационного расхода топлива.

Основная часть

Для уменьшения эксплуатационного расхода топлива и эксплуатационного расхода электроэнергии мощность двигателей ТС не должна быть больше величины, обеспечивающей движение ТС в транспортном потоке с разрешенной скоростью, надежное выполнение обгонов и

опережений. Сегодня большинство двигателей легковых автомобилей имеет избыточную мощность, которая увеличивает эксплуатационный расход топлива (электроэнергии) и снижает надежность управления ТС.

Чем выше конструктивная скорость V_k и меньше время разгона до скорости 100 км/ч T_{100} , тем больше максимальная скорость V_{max} , до которой разгоняются водители на участках свободного движения. Большинство водителей разгоняется до скорости, равной $0,63V_k$.

Задавшись величиной V_{max} , можно определить необходимую конструктивную скорость из уравнения:

$$V_k = V_{max} / 0,63 \quad (1)$$

В соответствии с Правилами дорожного движения (ПДД) максимальная скорость легковых автомобилей на автомагистралях России ограничена до 110 км/ч. Из уравнения (1) следует, что конструктивная скорость легковых автомобилей должна быть ограничена до 180 км/ч.

В табл.1 приведены данные, иллюстрирующие влияние максимальной мощности N_{max} на скоростные свойства и расход топлива: конструктивную скорость V_k , время разгона до скорости 100 км/ч T_{100} , расход топлива в смешанном ездовом цикле $q_{ц}$, коэффициент расхода топлива k_q при изменении конструктивной скорости относительно $V_k = 180$ км/ч и $T_{100} = 12$ с, среднее ускорение разгона J и влияние ускорения разгона на надежность управления ТС.

Таблица 1

N_{max} , кВт	48	59	74	103	132	221	404
V_k , км/ч	160	170	180	200	220	250	310
T_{100} , с	16	14	12	10	8	6	4
$q_{ц}$, л /100км	4,5	4,97	5,56	6,36	7,5	9,27	12,5
k_q	0,81	0,89	1,0	1,14	1,35	1,67	2,25
J , м/с ²	1,75	2,0	2,3	2,8	3,5	4,7	7,0
Уровень критичности	Легкая			Средняя	Критическая ситуация		

Влияние максимальной мощности N_{max} на скоростные свойства и расход топлива.

Из приведенных в табл.1 данных видно, как быстро увеличивается мощность двигателя, необходимая для повышения скоростных свойств, до значений, которые никогда не будут реализованы при движении в транспортном потоке. Абсолютная величина расхода топлива в смешанном ездовом цикле не равна эксплуатационному расходу топлива. Но относительный расход топлива k_q в ездовом цикле можно принять за относительный эксплуатационный расход топлива. Из приведенных в табл.1 данных видно, как быстро увеличивается относительный расход топлива k_q по мере увеличения конструктивной скорости относительно 180 км/ч и уменьшения времени разгона до 100 км/ч относительно 12 с. Ограничение скоростных свойств легковых автомобилей позволит решить еще одну важную задачу – повысить надежность управления ТС, потому что разгон со средним ускорением, превышающим $2,3$ м/с², создает конфликтные ситуации в транспортном потоке, критичность которых увеличивается до недопустимых значений при уменьшении времени разгона T_{100} [1].

Наибольшее уменьшение расхода топлива можно получить при использовании гибридной установки, в которой двигатель внутреннего сгорания (ДВС) работает только на зарядку аккумуляторной батареи, питающей электродвигатель. В этом случае ДВС всегда загружен на 100%, а постоянная частота вращения коленчатого вала должна соответствовать минимальному

удельному расходу топлива.

Ограничение максимальной мощности двигателя электромобиля позволит снизить эксплуатационный расход электроэнергии. Поскольку скоростная и нагрузочная характеристики электродвигателя отличаются от таких характеристик ДВС [2], необходимо разработать методику определения оптимальной и максимальной мощности электродвигателя, учитывающую его особенности.

Еще одним способом снижения потребления топлива (электроэнергии) является уменьшение годовых пробегов легковых автомобилей личного пользования. Это достигается путем совершенствования качества функционирования общественного транспорта. Примером является развитие общественного транспорта в городе Москве.

Ограничения максимальной скорости, устанавливаемые ПДД, являются одним из средств уменьшения эксплуатационного расхода топлива. Декларируемые в настоящее время предложения об увеличении разрешенной скорости для легковых автомобилей на автомагистралях со 110 до 130 км/ч увеличат расход топлива на 19...24%.

Ограничение максимальной мощности двигателя легкового автомобиля и ограничение максимальной скорости легковых автомобилей на автомагистралях до 110 км/ч позволит снизить эксплуатационный расход топлива независимо от квалификации водителя.

Движение автомобиля представляет собой повторяющиеся циклы, которые включают следующие фазы: разгон, движение с постоянной скоростью, снижение скорости до безопасной величины, которая в пределе равна нулю. В каждой фазе цикла возможно уменьшить расход топлива путем применения экономичного алгоритма регулирования скорости.

Количество энергии E , затрачиваемой на разгон ТС массой m от скорости V_1 до скорости V_2 , определяется уравнением:

$$E = m * (V_2^2 - V_1^2) / 2 \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что величина E не зависит от ускорения разгона, поэтому для уменьшения расхода топлива при разгоне ДВС должен работать со 100%-ной нагрузкой, при которой КПД достигает максимальной величины. Поэтому при разгоне двигатель должен работать по внешней скоростной характеристике. Чтобы при работе двигателя по внешней скоростной характеристике получить минимальный путевой расход топлива, переходить на более высокие передачи необходимо при пониженной частоте вращения коленчатого вала. Оптимальная частота вращения коленчатого вала $n_{\text{опт}}$, при которой надо переходить на более высокие передачи, зависит от номинальной частоты вращения коленчатого вала n_n . Приблизительно величина $n_{\text{опт}}$ определяется уравнением [3]:

$$n_{\text{опт}} = 0.234n_n + 1150, \text{ мин}^{-1} \quad (3)$$

Точная величина $n_{\text{опт}}$ определяется экспериментально.

Наличие избыточной мощности не позволяет реализовать этот режим работы двигателя при разгоне, потому что большое ускорение разгона при движении ТС в транспортном потоке является причиной возникновения конфликтных ситуаций, приводящих к ДТП [1].

При наличии на ТС автоматической коробки передач (АКП) переключение на более высокие передачи должно происходить при оптимальной частоте вращения коленчатого вала и 100%-ной нагрузке двигателя. Большинство существующих АКП не позволяет реализовать экономичный алгоритм регулирования скорости при разгоне, потому что при перемещении педали скорости на 100% ее хода переключение на более высокие передачи происходит при номинальной частоте вращения коленчатого вала. Для реализации экономичного алгоритма регулирования скорости на ТС с АКП водитель должен иметь возможность выбирать между экономичным и скоростным алгоритмами регулирования скорости при перемещении педали скорости на 100% ее хода. Для

этого наиболее удобно применять прожимаемый упор. Пока водитель не прожал его, разгон выполняется по экономичному алгоритму, при прожатии упора – по скоростному алгоритму регулирования скорости.

Нагрузочная и скоростная характеристики электродвигателя отличаются от таких характеристик ДВС. Кроме того, отсутствует многоступенчатая КП, поэтому требуется разработка экономичного алгоритма регулирования скорости электромобилей при разгоне, учитывающая особенности электродвигателя.

После завершения разгона до заданной водителем скорости наступает вторая фаза – движение с постоянной скоростью. При этом мощность, необходимая для преодоления сопротивления движению ТС, значительно уменьшается. Для повышения загрузки двигателя движение с постоянной скоростью должно выполняться на самой высокой передаче, при которой двигатель работает устойчиво.

Для повышения загрузки двигателя при движении с постоянной скоростью много лет назад было предложено отключение цилиндров, однако технические трудности в течение многих лет не позволяли реализовать такой подход. Сегодня, при наличии электронного управления впрыском топлива, эта задача легко решается. Отключение половины цилиндров двигателя легкового автомобиля с конструктивной скоростью 180 км/ч уменьшает расход топлива при движении со скоростью 60; 90 и 110 км/ч на 19; 28 и 32% соответственно.

У грузовых автомобилей отсутствуют резервы мощности, и большое влияние на расход топлива оказывает вес перевозимого груза. Поэтому отключение половины цилиндров возможно только в ограниченной области значений скорости и веса груза.

При разгоне и движении на подъем расходуется дополнительная энергия. Для уменьшения расхода топлива кинетическая энергия, накопленная в результате увеличения скорости, и потенциальная энергия, накопленная при подъеме, должны максимально использоваться для движения автомобиля при планируемых снижениях скорости и движении на пологих спусках.

При наличии механической коробки передач (МКП) это достигается путем перевода рычага КП в нейтральное положение, что позволяет перейти к движению накатом. При испытаниях автопоезда полной массой 34 т каждый процент увеличения времени движения накатом уменьшал расход топлива на 0,5%. Относительное время движения накатом у разных водителей изменялось от 0 до 20%, а полученная в результате экономия топлива от 0 до 10% соответственно.

Большинство АКП не позволяет использовать режим движения накатом. Аналогичная проблема существует и у большинства электромобилей [2].

Необходимо внести изменения в конструкцию АКП и конструкцию электромобилей, которые позволят применять движение накатом.

Применение экономичного алгоритма регулирования скорости на ТС с МКП в среднем уменьшает расход топлива на 15...20% без внесения изменений в конструкцию автомобиля.

Большое влияние на среднюю скорость ТС и расход топлива может оказывать гибкая система управления дорожным движением. В зависимости от изменяющихся условий движения транспортного потока должны оперативно вводиться изменения разрешенной скорости, запрещения и отмены запрещения обгонов.

При увеличении скользкости дорожного покрытия надежность управления ТС снижается, а эксплуатационный расход топлива увеличивается. Величине разрешенной скорости, устанавливаемой ПДД, соответствует высокий коэффициент сцепления. Чтобы надежность управления ТС при уменьшении коэффициента сцепления не снижалась, остановочный путь должен оставаться постоянным. Для этого разрешенная скорость V_2 должна уменьшаться относительно разрешенной скорости V_1 при уменьшении коэффициента сцепления от ϕ_1 до ϕ_2 , в соответствии с уравнением:

$$V_2 = V_1 \cdot (\phi_2 / \phi_1)^{0.5} \quad (4)$$

Средняя скорость ТС зависит от уровня удобства движения в транспортном потоке. Уровень удобства движения (свободный, частично связанный, связанный и насыщенный транспортный поток) определяется интенсивностью дорожного движения. При увеличении интенсивности дорожного движения средняя скорость ТС уменьшается. При этом должна уменьшаться и разрешенная скорость, до которой целесообразно разгоняться водителям ТС на участках свободного движения в свободном и частично связанном транспортных потоках для поддержания оптимальной средней скорости. В связанном и насыщенном транспортных потоках водитель должен выдерживать дистанцию, которая позволит тормозить штатно при аварийном торможении автомобиля-лидера.

Обсуждение

При превышении оптимальной максимальной скорости средняя скорость растет тем медленнее, чем выше интенсивность дорожного движения, а количество обгонов, опережений, коэффициент аварийности и расход топлива увеличиваются все быстрее. Для надежного, эффективного и экологичного движения транспортного потока необходимо регулировать разрешенную скорость и шум ускорения в транспортном потоке в зависимости от скользкости дорожного покрытия и интенсивности дорожного движения.

Результаты

Разработка теоретических основ управления ТС [4,5,6], устройство для контроля управления ТС [7] и эффективное применение навигационных систем позволяют организовать систему управления качеством дорожного движения. Навигационная система прокладывает наиболее выгодный маршрут движения ТС на основании измерения средней скорости движения транспортного потока. Зная среднюю скорость транспортного потока, мы можем определить оптимальную максимальную скорость и допустимый уровень неравномерности дорожного движения ТС и информировать об этом каждого водителя, а устройство для контроля управления ТС зафиксирует каждый случай нарушения установленных ограничений скорости и неравномерности дорожного движения, степень возникающей при этом опасности. Кроме того, устройство определит величину коэффициента расхода топлива.

Гибкое регулирование разрешенной скорости, запрещение и отмена запрещения обгонов в зависимости от интенсивности дорожного движения увеличат время движения ТС с постоянной скоростью, что приведет к снижению эксплуатационного расхода топлива (электроэнергии).

С помощью навигационной системы можно организовать «зеленую волну» при движении в городских условиях между светофорами. Для этого в навигационную систему необходимо внести дислокацию светофоров, расстояния между ними и циклы их работы. Передавая эти сведения устройству для контроля управления ТС, можно вычислить скорость, двигаясь с которой, ТС подъедет к следующему светофору в момент включения разрешающего сигнала.

Выводы

Для уменьшения выбросов CO₂ необходимо снизить эксплуатационный расход топлива (электроэнергии). Чтобы снизить эксплуатационный расход топлива, необходимо в комплексе использовать все возможные методы решения этой задачи.

Реализация этих методов невозможна без нормирования эксплуатационного расхода топлива (электроэнергии). Информация о надежности управления и результатах оценки соответствия расхода топлива (электроэнергии) установленной норме должна доводиться до водителей через определенные отрезки пройденного пути, чтобы они могли исправлять

допускаемые ошибки. Эта же информация должна доводиться до органов дорожного надзора, чтобы они могли оперативно контролировать нарушения водителями условий надежного, эффективного и экологичного управления ТС.

Для измерения показателей надежного, эффективного и экологичного управления ТС необходимо применить устройство для контроля управления ТС.

Для реализации перечисленных мероприятий потребуются внесение изменений и дополнений в Технический регламент Таможенного Союза «О безопасности колесных транспортных средств».

Список литературы

1. Бабков, В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для вузов / В.Ф. Бабков. – М.: Академия, 1993 – 188 с.
2. Иванов С. Какой двигатель лучше для электромобилей: асинхронный, синхронный или на постоянных магнитах: insideevs.ru.
3. Сарымсаков Б. А. Разработка экономичной модели управления автомобилем: дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук: 05.22.10. – М.: ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет». 2015. – 146 с.
4. Майборода О.В. Основы управления транспортными средствами. Базовый цикл: учебник водителя транспортных средств всех категорий и подкатегорий / О.В. Майборода, А.Л. Травянка. – М.: Издательский центр «Академия», 2020. – 192 с.
5. Майборода О.В. Основы управления транспортными средствами категорий «В», «ВЕ»: Специальный цикл: учебник водителя транспортных средств категорий «В», «ВЕ» / О.В. Майборода. – М.: Издательский центр «Академия», 2019. – 144 с.
6. Майборода О.В. Основы управления транспортными средствами категорий «С», «СЕ» и подкатегорий «С1», «С1Е». Специальный цикл: учебник водителя транспортных средств категорий «С», «СЕ» и подкатегорий «С1», «С1Е»: учебник для студ. Учреждений сред. Проф. Образования / О. В. Майборода, А.Л. Травянка. – М. Издательский центр «Академия», 2020. – 288 с.
7. Патент № 2664094 Российская Федерация, МПК B60R 99/00(2009.01). Устройство для контроля управления транспортным средством: заявл. 01.09.2011; опубл.: 10.02.2012 / Майборода О. В., Рыбкин С. В., Травянка А.Л. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU113218U1_20120210 (дата обращения: 9.09.2020).

О.В. Майборода¹, Ғ.К. Кәленов², М.Б. Мұстаяп³

¹Мәскеу автомобиль-жол институты (МТУ), Мәскеу, Ресей

²С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

³Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан

Көлік құралдарының CO₂ шығарындыларын азайту жолдарын талдау

Аңдатпа. CO₂ шығарындыларын азайтудың мүмкін жолдары қарастырылған. CO₂ шығарындылары отынның пайдалану шығынын азайтуға пропорционалды түрде азаяды. Электромобильдерді қолдану CO₂ шығарындыларын жоймайды, тек оларды азайтады. Электр энергиясын негізінен жылу электр станциялары өндіреді. Электромобильдің электр қуатын тұтынуды азайту арқылы біз жылу электр станцияларының CO₂ шығарындыларын азайтамыз. Мақалада автомобильдер мен электромобильдердің электр энергиясының отын шығынын азайтудың келесі әдістері қарастырылған: автомобильдер мен электромобильдердің қозғалтқыштарының артық қуатын шектеу; гибридік күштік қондырғыларды қолдану; Іштен жану қозғалтқышы бар автомобильдер мен электромобильдердің жылдамдығын реттеудің үнемді

алгоритмдерін қолдану. Электромобильдер үшін жылдамдықты реттеудің экономикалық алгоритмін жасау қажеттілігіне назар аударылды. Автоматты берілістердің қолданыстағы конструкциялары және көптеген электромобильдердің конструкциялары отынның (электр энергиясының) пайдалану шығынын азайту үшін жылжымалы қозғалысты пайдалануға мүмкіндік бермейтіні көрсетілген. Автомагистральдардағы жеңіл автомобильдердің рұқсат етілген жылдамдығын сағатына 110 км/сағ деңгейінде сақтау қажеттілігі көрсетілген. Максималды жылдамдықты икемді реттеу және басып озу мүмкіндігін шектеу автомобильдің қозғалыс уақытын тұрақты жылдамдықпен арттырады, бұл отын шығынын азайтады.

Кілт сөздер: көміртегі ізі, отынды пайдалану шығыны, жылдамдықты басқарудың үнемді алгоритмдері, көлік ағындарын басқару.

O.V. Mayboroda¹, K. G. Kalenov², M. B. Mustayap³

¹*Moscow Automobile and Road Institute (STU), Moscow, Russia*

²*S.Seifullin Kazakh Agro- Technical University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

³*Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan*

Analysis of ways to reduce CO₂ emissions by vehicles

Abstract. The article considers possible ways to reduce CO₂ emissions. CO₂ emissions are reduced in proportion to the reduction in operational fuel consumption. The use of electric vehicles does not reset CO₂ emissions, but only reduces them. Electricity is mainly generated by thermal power plants. By reducing electric vehicle power consumption, the authors reduce CO₂ emissions from thermal power plants. The article considers the following ways to reduce the operational fuel consumption of cars and electric power by electric vehicles: limiting the excess power of the engines of cars and electric vehicles; the use of hybrid power plants; the use of economical algorithms for regulating the speed of cars with an internal combustion engine and electric vehicles. The article focuses on the need to develop an economical algorithm for speed control for electric vehicles. The article shows that the existing designs of automatic transmissions and the designs of most electric vehicles do not allow the use of rolling motion to reduce the operational consumption of fuel (electricity). The article presents the necessity of maintaining the permitted speed of passenger cars on motorways at the level of 110 km/h. The article considers the influence of the slipperiness of the road surface and the intensity of traffic on the average and maximum speeds of the traffic flow. Flexible regulation of the maximum speed and limitation of overtaking increase the driving time of the car at a constant speed, which reduces fuel consumption.

Keywords: carbon footprint, operational fuel consumption, economical speed control algorithms, traffic flow management.

References

1. Babkov, V.F. Road conditions and traffic safety: textbook for universities /V.F. Babkov. – M.: Academy, 1993 – 188 p.
2. Ivanov S. Which engine is better for electric vehicles: asynchronous, synchronous or permanent magnets: insideevs.ru .
3. Sarymsakov B. A. Development of an economical car driving model: dis. Candidate of Technical Sciences: 05.22.10. – Moscow: Moscow Automobile and Road State Technical University. 2015. – 146 p.
4. Mayboroda O.V. Fundamentals of vehicle management. Basic cycle: textbook of the driver of vehicles of all categories and subcategories /O.V. Mayboroda, A.L. Travyanko. – M.: Publishing Center "Academy", 2020. – 192 p
5. Mayboroda O.V. Fundamentals of vehicle management of categories "B", "VE": Special cycle: textbook of the driver of vehicles of categories "V", "VE" /O.Mayboroda. – M.: Publishing center

"Academy", 2019. – 144 p.

6. Mayboroda O.V. Fundamentals of vehicle management of categories "C", "CE" and subcategories "C1", "C1E". Special cycle: textbook of the driver of vehicles of categories "C", "CE" and subcategories "C1", "C1E": textbook for students. Institutions of environments. Prof. Education /O.V. Mayboroda, A.L. Travyanko. – M. Publishing Center "Academy", 2020. – 288 p.

7. Patent No. 2664094 Russian Federation, IPC B60R 99/00(2009.01). Device for vehicle control control : application 01.09.2011: publ.: 10.02.2012 / Mayboroda O. V., Rybkin S. V., Travyanko A.L. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU113218U1_20120210 (accessed 9.09.2020).

Сведения об авторах:

Майборода О.В. – кандидат технических наук, Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ), Москва, Россия.

Каленов Г.К. – кандидат технических наук, Казахский аграрно-технический университет имени С.Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан.

Мустаяп М.Б. – ст.препод., Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан.

Mayboroda O.V. – Candidate of Technical Sciences, Moscow Automobile and Road Institute (GTU), Moscow, Russia.

Kalenov G.K. – Candidate of Technical Sciences, S.Seifullin Kazakh Agro- Technical University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Mustayap M.B. – Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

А.Е. Молдахметова, А.Т. Канаев, М.А. Сайдуллаева, Т.Е. Сарсембаева

Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,
Нур-Султан, Казахстан
E-mail: aliya-981@mail.ru, aman-kanaev2012@mail.ru

Изменения структуры поверхностного слоя тяжело нагруженных деталей из конструкционной стали при плазменной закалке

Аннотация. В данной работе представлено исследование влияния плазменной закалки на процессы упрочнения тяжело нагруженных быстроизнашивающихся деталей почвотрежущих машин. Результаты исследований показали, что в упрочненной зоне с толщиной ~ 0.8 мм лемеха плуга из конструкционной стали 65Г при поверхностной плазменной закалке формируется градиентно-слоистая (смешанная) структура, состоящая из мелкодисперсной смеси продуктов распада аустенита с микротвердостью, снижающейся от поверхности к центральным зонам в интервале 429,3-215,2 HV_{0.5}.

Было подтверждено, что образование градиентно-слоистой структуры и ее свойств обусловлено сверхвысокими скоростями нагрева и охлаждения в процессе поверхностной плазменной обработки, что в значительной мере отличается от процессов, протекающих при традиционных методах термической обработки.

Установлено влияние параметров режима плазменной закалки на основные характеристики термического цикла при нагреве плазменной дугой, а также определен режим для достижения необходимой глубины и жесткости поверхностного модифицированного слоя.

Ключевые слова: конструкционная сталь, плазменная закалка, упрочнение, тяжело нагруженные детали, градиентно-слоистая структура, межпластиночное расстояние, свойства, микротвердость.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-139-2-119-132

Введение

На сегодняшний день актуальна проблема износа тяжело нагруженных деталей в процессе статических и динамических нагрузок при эксплуатационных работах. В результате этого максимальные напряжения возникают в поверхностном слое изделия. Даже в случае знакопеременной нагрузки основные разрушения деталей возникают в поверхностном слое. В случае работы изделия на износ от трения изнашивается только его рабочий слой глубиной в несколько миллиметров. Поэтому в обеспечении надежности и долговечности машин и механизмов важную роль играет физико-механические свойства относительно тонкого поверхностного слоя, в результате чего более неактуальна надобность однородной структуры и свойств по всему объему деталей.

За последние годы многими исследованиями установлено, что неоднородность и многослойность структуры упрочненного поверхностного слоя изделия после плазменной обработки обеспечивают им комплекс механических и эксплуатационных свойств. Показано, что создание многослойных неоднородных структур возможно в условиях различного рода дифференцированных обработок, когда тепловое поле распространяется неравномерно по объему изделия, а локализуется в ее отдельных слоях [1,2].

Важным преимуществом поверхностной плазменной закалки является то, что благодаря локальности температурного поля и небольшому пятну нагрева не требуется подача

охлаждающей среды (воды) на деталь, достаточно теплоотвода в тело упрочняемой детали, что существенно упрощает технологический процесс термической обработки.

В настоящее время в технологии плазменной закалки достигнут значительный прогресс и начат серийный выпуск установки УДГЗ-200, обеспечивающей бесконтактный поджог дуги с плавным нарастанием тока закалки и его плавную регулировку, что сделало плазменную закалку доступной для широкого применения [3].

Объектом исследования настоящей работы являются плужные лемехи почворезущих машин, которые в процессе работы подвержены быстрому износу, что требует производства большого количества запасных частей для их замены. В Республике Казахстан для изготовления тяжело нагруженных быстроизнашающихся деталей используются стали типа Л53, 40Х, 65Г – класс недорогих углеродистых и низколегированных сплавов. Их уровень эксплуатационного ресурса определяется твердостью и прочностью, которые можно варьировать с помощью термической обработки. Согласно, нормативной документации твердость таких изделий составляет порядка 25-30 HRC (250-300 HV), прочность – 900-1200 МПа, а значение ударной вязкости находится в пределах 0,2-0,6 МДж/м².

Зарубежные аналоги тяжело нагруженных деталей сельхозмашин изготавливаются из среднеуглеродистых и низколегированных сталей. С помощью метода плазменной термической обработки модификация поверхностного слоя деталей позволяет улучшить характеристики сменных деталей до твердости 50-60 HRC, прочность превышает 1200 МПа, ударная вязкость составляет 0,8-0,9 МДж/м² [4,5].

Также стоит отметить, что закалка в масло с последующим отпуском является малоэффективным способом для повышения твердости материала, а как следствие и снижения износа материала. Дальнейшая модификация возможна за счет дополнительного легирования сталей, например W или Mo. Однако такой способ значительно увеличивает стоимость производства деталей. Поэтому метод упрочнения плазменной закалкой с созданием градиентно-слоистой структуры в поверхностной зоне для повышения эксплуатационного ресурса деталей почвообрабатывающих машин кажется наиболее практичным и перспективным [6,7].

Экспериментальная часть

Поверхностную плазменную обработку плужных лемехов из марганцовистой стали 65Г (ГОСТ 14659-2004) проводили на установке плазменной закалки УДГЗ-200. В комплект установки входит регулятор расхода газа с указателем расхода AP-40, который предназначен для понижения давления газа, поступающего из баллона и автоматического поддержания заданной постоянной расхода. В силу своих ионизационных свойств в качестве плазмообразующего газа используется аргон.

Вырезку темплетов из плазменно-закаленных деталей проводили на отрезном станке Labotom-3 фирмы Struers (Швейцария). В процессе резания вырезаемый темплет и отрезной диск охлаждались водой со специальным лубрикантом, исключая окисление темплета. Для микроструктурного анализа образцы изготавливали по стандартной методике, исключая возможное нарушение структуры.

Вследствие известных ограничений по разрешающей способности и увеличению изображения оптическая микроскопия (Leica) позволяет анализировать структуру только крупнопластичатого перлита, в работе структуру троостита и сорбита выявляли сканирующим электронным микроскопом «Zeiss» (Германия) с максимальным увеличением 30 000х.

Микротвердость темплетов по сечению упрочненного слоя определяли микротвердомером ISOSCAN OD методом Виккерса в соответствии с международным стандартом ISO 6507 с нагрузкой 0,5Н.

Как выше отмечалось, при плазменной закалке охлаждение закаливаемой детали идет сверхвысокой скоростью из-за малого объема разогреваемого металла, поскольку плазменной нагрев высокоэнтальпийной струей в отличие от традиционных способов нагрева отличается локальностью. Нагрев осуществляется только в тонком поверхностном слое обрабатываемого материала с помощью плазменной дуги, а необходимая скорость охлаждения достигается за счет теплоотвода в основной объем детали, в результате чего закалка может быть осуществлена без дополнительного охлаждения водой. Такое безпринудительное охлаждение, обеспечивающее закалку теплоотводом в холодные участки закаливаемой детали без подачи на нагретую поверхность охлаждающей жидкости, широко используется для повышения износостойкости крупногабаритных и массивных изделий (железнодорожные колеса, прокатные валки, шейки шпиндельных валов и др.). Отсюда следует, что для реализации процесса плазменной закалки деталь должна быть достаточно массивной, чтобы обеспечить необходимую скорость охлаждения путем теплоотвода.

Для упрочнения тонкостенных деталей, не обладающих достаточной массой, применяются методы интенсификации охлаждения. На практике значительный интерес представляет случай, когда необходимая для закалки скорость охлаждения обеспечивается рациональным сочетанием параметров режима плазменной закалки, позволяющим получить заданные глубину и твердость поверхностного слоя. При этом важное значение имеет то, что при нагреве поверхности детали плазменной дугой основные параметры режима плазменной закалки взаимосвязаны [8,9]. В частности, при поверхностной плазменной обработке лемехов плутов определяющее значение имеет скорость перемещения плазматрона, ее влияние на структуру, свойства (твердость) и глубину упрочненной зоны. В данной работе скоростью перемещения плазматрона поддерживали запотевание поверхности под дугой, не допуская при этом макроплавления; расход плазмообразующего газа варьировали в пределах 7,0-9,0 л/мин, расстояние между обрабатываемой поверхностью и срезом сопла плазматрона составило порядка 10 мм, а значение тока плазменной дуги было равно 120-125А.

Полученные результаты и их обсуждение

Металлографические исследования показывают, что на качество плазменного упрочнения существенное влияние оказывает исходное состояние обрабатываемой детали. В табл.1 представлены структура и микротвердость образцов в исходном состоянии и после поверхностной плазменной закалки по сечению упрочненной зоны.

Таблица 1. Микротвердость и структура образцов в исходном состоянии и после плазменной закалки

№ п/п	Исходное состояние Расстояние от поверхности, мм	HV _{0.5}	Микро – Структура	Закаленное состояние Расстояние от поверхности, мм		HV _{0.5}	Микро – структура
1	0.15	218.8	П+ Ф (Ф- в виде сетки)	0.15		429.3	М+Б
2	0.27	216.3		0.29		310.2	Б+Т
3	0.43	217.5		0.42		304.0	Т+С
4	0.59	218.0		0.60		229.1	С+П
5	0.76	219.6		0.77		215.2	П+ ф

Из таблицы видно, что в исходном (горячекатаном) состоянии микротвердость по сечению детали от поверхности к центральной зоне практически не меняется, оставаясь на уровне 217-219 HV_{0.5}. Структура представлена в основном пластинчатым перлитом и сеткой избыточного феррита. Соотношение этих структурных составляющих составляет ~ 85/15 (Рис.1.).

Поверхностная твердость образцов в исходном состоянии 24 HRC, после упрочнения, составляет 53 HRC.

Как известно, такая довольно крупнозернистая структура формируется при высокой температуре конца прокатки полосы с охлаждением на спокойном воздухе и свидетельствует о том, что до плазменной закалки образцы не подвергались упрочняющей термической обработке, что является недостатком действующей технологий. Ранее проведенные исследования [10] показывают, что на эффект плазменного упрочнения, глубину получаемых слоев, твердость и износостойкость обработанных изделий существенное влияние оказывает исходное структурное состояние обрабатываемых изделий. Для повышения эффективности метода плазменной закалки рекомендуется проводить предварительную термическую обработку, которая подготовит мелкозернистый аустенит к началу фазового перехода $\alpha \rightarrow \gamma$, с последующим распадом в тонкодисперсную феррито-цементитную смесь при резком охлаждении.

Распределение микротвердости по сечению плазменно-упрочненного слоя показывает, что в направлении от поверхности к центральной зоне микротвердость растет в ~2 раза. Как видно из табл. 1, для лемеха плуга из стали 65Г глубина упрочненного слоя составляет ~ 0,8мм с микротвердостью по сечению в интервале 429,3 HV_{0.5} - 215,2 HV_{0.5}. В упрочненном слое образца, как показывает макроструктура, сформирована градиентно-слоистая (диссипативная) структура, состоящая из мелкодисперсной смеси продуктов распада переохлажденного аустенита.

На расстоянии от поверхности ~15мкм структура представляет собой мартенсито-бейнитную смесь с микротвердостью 429,3 HV_{0.5}. За ней следует зона бейнито-трооститной структуры (310,2 HV_{0.5}). Для этих двух слоев характерно наличие небольшого количества остаточного аустенита порядка 15-20%, которое можно контролировать, варьируя глубину закаленного слоя. Далее сформирована узкая зона троосто-сорбитной структуры (229,1- 304,0 HV_{0.5}) плавно переходящая к исходному феррито-перлитному состоянию с микротвердостью 215,2 HV_{0.5}.

На рис.1 приведено изображение структуры пластинчатого перлита с межпластиночным расстоянием феррито-цементитной смеси, полученного с помощью электронной микроскопии. Эта структура представляет собой сумму толщин двух соседних пластин феррита и цементита. Видно, что цементитные частицы в перлите представлены в виде параллельных пластинок, а межпластиночные расстояния между ферритом и цементитом в разных перлитных колониях колеблются от 237,6 nm до 633,8 nm. Это, вероятно, указывает на то, что из одного аустенитного зерна может формироваться несколько перлитных колоний с различным межпластиночным расстоянием.

Важно отметить, что перлитные колонии разделены на блоки, в которых ферритная матрица и цементитные пластинки имеют одинаковую кристаллографическую ориентацию. Ориентационные соотношения между структурными составляющими (Ф и Ц) в перлите имеют важное теоретическое значение [11]. Они дают возможность объяснить образование пластинчатой структуры и ее относительно высокую устойчивость при термической обработке.

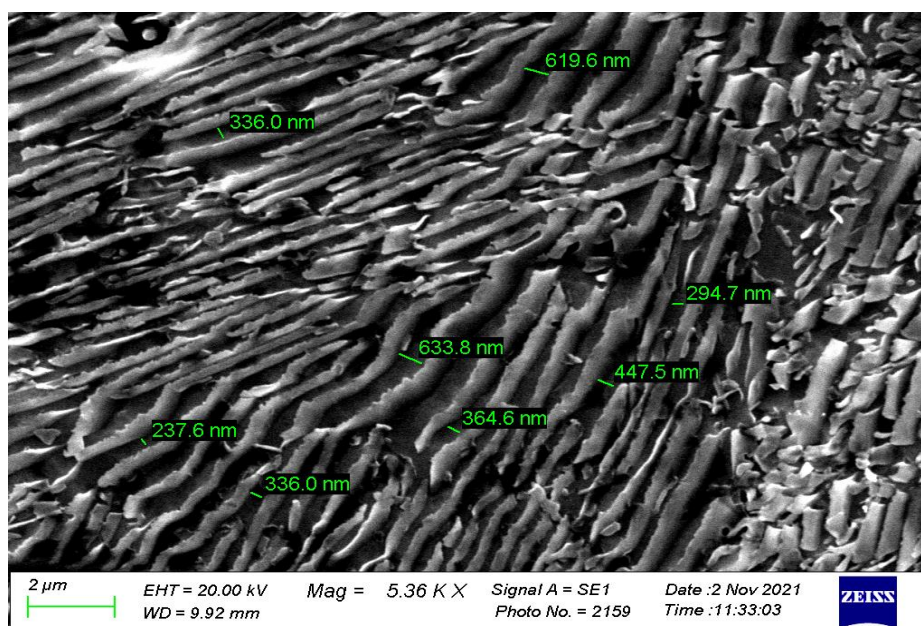


Рисунок 1 - Структура пластинчатого перлита, полученного с помощью электронной микроскопии

Известно, что, как правило, нет четких границ между перлитом, сорбитом или трооститом при разделении феррит-цементитных структур [12]. Так как скорость охлаждения меняется по закону, зависящему от теплофизических свойств стали вдоль всего объема, то при непрерывном охлаждении достаточно проблематично разграничить процессы образования чистого троостита, сорбита или перлита. В действительности процессы превращения могут накладываться один на другой по температуре и времени своего развития. Как правило, это приводит к формированию смешанных структур: мартенсит и бейнит, сорбит и перлит, троостит и сорбит (Рисунок 2).

Также стоит отметить, что стабильной является только фаза перлита, а сорбит и троостит не являются равновесными структурами. Это может быть объяснено тем, что охлаждение при реальных условиях производства обычно неравномерное, что в свою очередь приводит к пресыщению сорбитного и трооститного феррита углеродом [13].

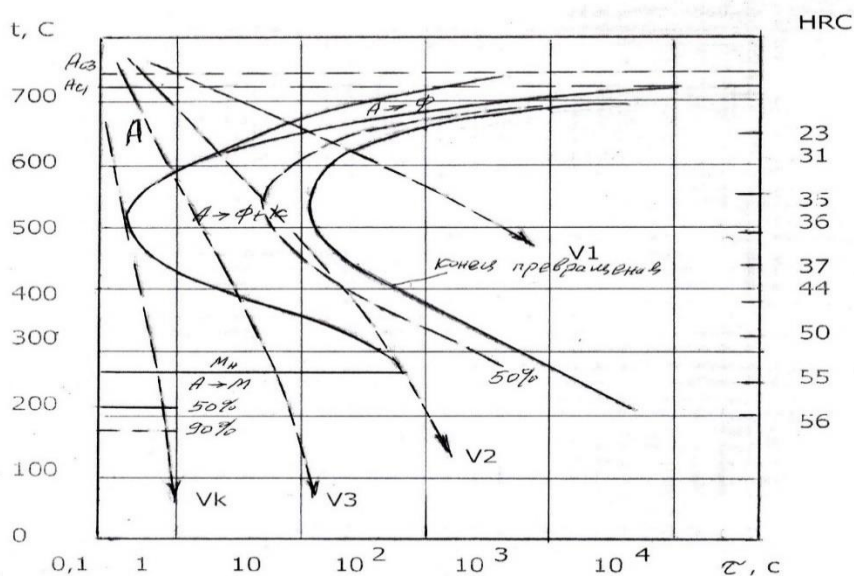


Рисунок 2- Термокинетическая диаграмма распада аустенита стали 65Г [14]

На графике видно, что при охлаждении со скоростью V_3 от 550°C до 400°C происходит превращение аустенита в троостит посредством диффузионного механизма. Оставшаяся часть может переходить в верхний бейнит и ниже точки M_n ($\sim 260^{\circ}\text{C}$) бездиффузионно в мартенсит.

Данный график наглядно демонстрирует, что фазовые переходы при охлаждении имеют сложную зависимость и представляют собой достаточно сложную экспериментальную задачу. Поэтому установить четкие температурные границы, при которых структурные превращения будут протекать только по одному механизму и однозначно разграничить структурные зоны весьма проблематично. Эти превращения могут накладываться один на другой по температуре и времени своего развития, что приводит к формированию смешанно-слоистых структур различной морфологии.

Известно, что при скорости охлаждения выше критической скорости закалки V_k мартенситное превращение углеродистой стали протекает только при прохождении ниже точек начала мартенситного превращения M_n [15]. Имеются доказательства того, что скорость охлаждения на рабочей поверхности лемеха достигает значений $700\text{--}800^{\circ}\text{C}/\text{с}$, а на расстоянии ~ 2 мм от поверхности изменяется в пределах $100\text{--}120^{\circ}\text{C}/\text{с}$ [6,16]. При этом условии температурные режимы, необходимые для полного протекания мартенситного превращения, в поверхностном слое толщиной ~ 2 мм соблюдаются. За пределами этого поверхностного слоя формируются структуры, состоящие из смеси мартенсито-бейнита, бейнито-троостита и троосто-сорбита, что и наблюдается экспериментально. На рисунках 3 и 4 представлены изображения микроструктур с наложением двух фаз: мартенсита и перлита. Эти данные находятся в соответствии с результатами экспериментальных исследований работы [16].

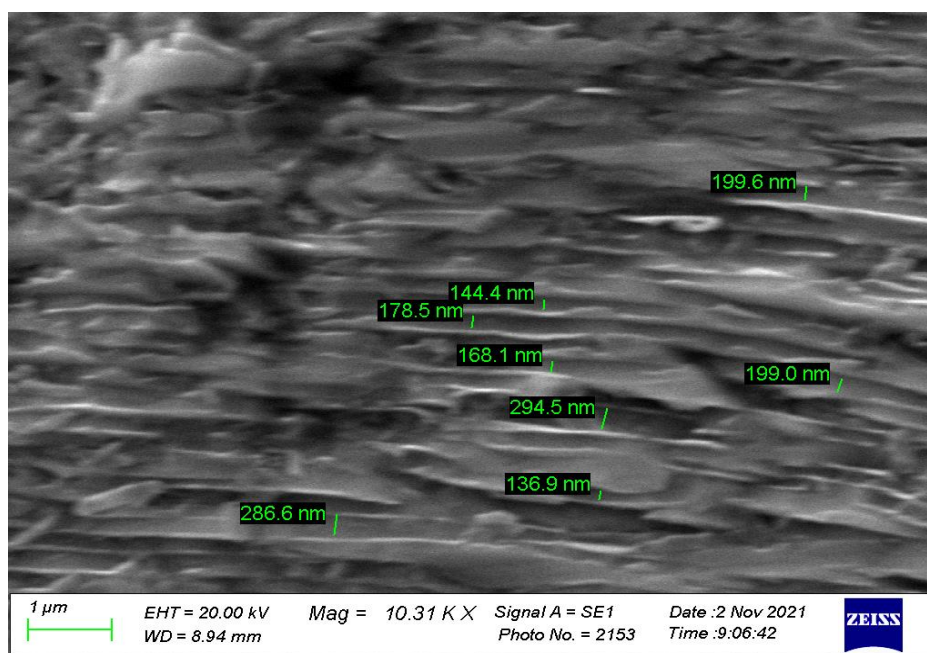


Рисунок 3 - Изображение структуры поверхностной зоны, представлена пластинчатым (игольчатым) мартенситом ($429,3\text{--}310,2\text{ HV}_{0.5}$), полученное с помощью электронной микроскопии

Согласно термокинетической диаграмме стали 65Г, представленной на рисунке 2, бейнитное и перлитное превращения могут протекать как при изотермической выдержке (V_1), так и при непрерывном охлаждении (V_2 , V_3). Для низколегированных сталей бейнитное и перлитное превращения не обособлены друг от друга. В стали 65Г перлитные структуры и бейнит образуются в интервале температур $400\text{--}600^{\circ}\text{C}$. При более высоких температурах ($\sim 600^{\circ}\text{C}$) в структуре

доминируют продукты перлитного превращения (троостит, сорбит), участки бейнита трудно выявить. При более низких температурах ($\sim 400^\circ\text{C}$) в структуре доминирует бейнит.

Относительно сформировавшейся структуры бейнита следует отметить, что кинетика бейнитного превращения и получающиеся структуры, как известно, имеют черты как диффузионного перлитного, так и бездиффузионного мартенситного превращений. Это объясняется тем, что бейнитное превращение протекает при сравнительно низких температурах, когда диффузия атомов железа сильно замедляется, а диффузия атомов углерода протекает сравнительно легко. В результате образуется смесь пересыщенного углеродом феррита и цементита, называемая бейнитом. Феррит бейнита отличается от феррита перлита формой, постепенно изменяющейся от перистой при сравнительно высокой температуре ($\sim 450^\circ\text{C}$) до игольчатой при низкой ($\sim 300^\circ\text{C}$) рис. 3 и 4.

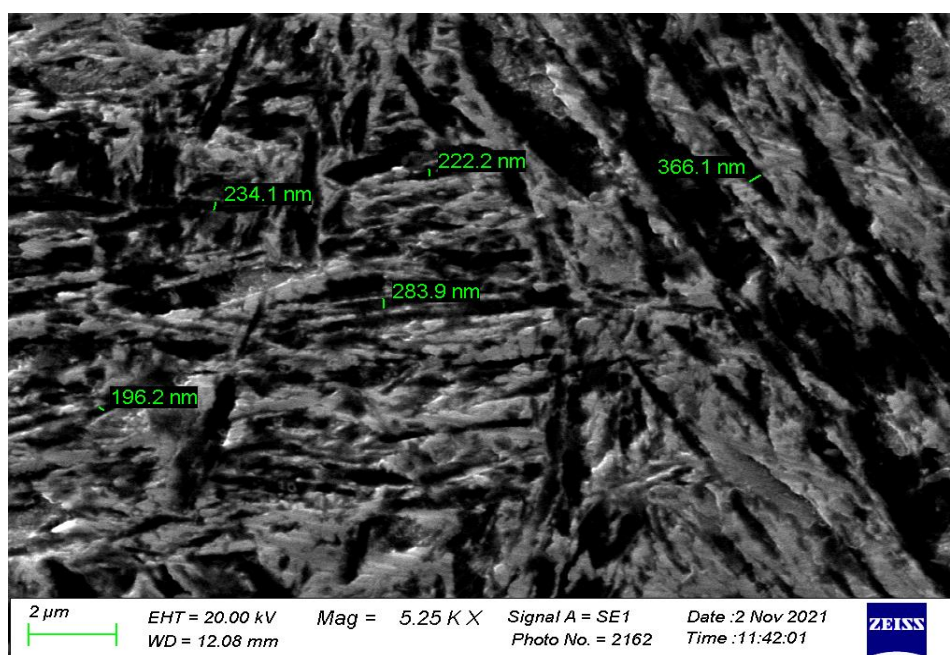


Рисунок 4- Изображение структуры промежуточной зоны, полученное с помощью электронной микроскопии (310,2 -304,9HV_{0.5})

Такие различия в структуре бейнита, полученной при охлаждении, можно объяснить различной подвижностью атомов углерода в крайних точках температурного диапазона бейнитного превращения. Также отличается способ проявления цементита. Если в бейните он выделяется как прерывистые короткие пластинки, которые непараллельны ферритным частицам, то в перлите пластинки цементита являются параллельными.

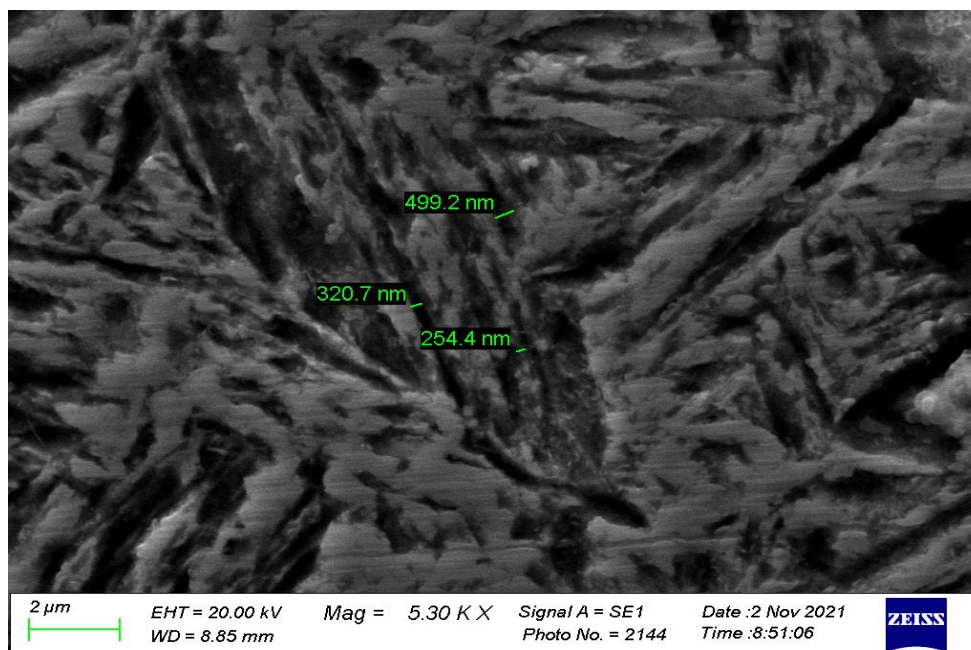


Рисунок 5 - Изображение структуры промежуточной зоны, полученное с помощью электронной микроскопии (229,1-304,0 HV_{0.5})

Обобщая литературные данные следует сказать, что повышенная прочность и твердость бейнита обусловлена малым размером ферритных частиц, дисперсным выделением карбидов (цементита), повышенной плотностью дислокаций и искажением кристаллической решетки феррита из-за пересыщенности его углеродом и легирующими элементами. Так, если феррит перлита при 723°C содержит 0,025 % C (согласно диаграммы Fe-Fe₃C), то феррит бейнита в интервале температур 500-300 °C может содержать от 0,1 до 0,2 % C., т.е. степень пересыщенности его углеродом возрастает до ~10 раз.

Как известно, механические свойства стали со структурами перлит, сорбит или троостит прямо пропорциональны площади поверхности раздела между ферритом и цементитом. Поэтому с понижением температуры распада аустенита и соответствующим измельчением структуры (усиления степени дисперсности) ферритные пластинки несколько пересыщаются углеродом, прочностные характеристики (прочность – σ в твердость - HB) возрастают, а пластические (относительное удлинение - δ и сужение – ψ) уменьшаются

Как видно из рис. 4, 5 в направлении от поверхности к центральным зонам максимальное значение межпластиночного расстояния от 366,1 nm увеличивается до 499,2 nm, что свидетельствует о снижении степени упрочнения. Карбидные частицы в бейните не имеют пластинчатого строения, свойственного перлиту, они очень дисперсны, их можно обнаружить только под электронным микроскопом. Считается, что при бейнитном превращении феррит образуется из аустенита по мартенситному механизму, т.е. перестройкой г.ц.к. решетки γ -фазы в о.ц.к. решетку α -фазы без изменения концентрации углерода. Заметим, что этот вопрос, так же, как и вопрос о выделении карбидных частиц из аустенита или из феррита, является дискуссионным [13,17].

Спецификой плазменной обработки деталей является сверхвысокая скорость нагрева (~1500-3000°C/с) и охлаждения (700-800 °C/с), с чем связано сильное измельчение зерен при плазменной закалке. Как известно, при сверхбыстрых скоростях нагрева фазовые превращения смещаются в область высоких температур, что кардинально влияет на кинетику возникновения и роста зародышей новой фазы. Соотношение между скоростью зарождения и скоростью роста зародышей меняется: по мере повышения температуры зерна новой фазы (аустенита)

зарождаются быстрее, чем их рост, наблюдается все большее количественное опережение скорости зарождения аустенитных зерен над скоростью их роста. В результате по мере смещения превращения ($\alpha \rightarrow \gamma$) в область высоких температур все большую роль играет процесс зарождения, а рост зародышей в значительной степени подавляется. В итоге формируется мелкозернистый аустенит, который превращается в сильно измельченный мартенсит с развитой субструктурой, характеризующийся высокой твердостью и износостойкостью [18,19]. Регулируя количество введенной энергии, можно создать такие условия превращения ($\alpha \rightarrow \gamma$), когда единственной возможностью перехода исходных фаз окажется процесс зарождения зерен аустенита. Кроме того, особенности упрочнения сплавов при быстром нагреве связаны с тем, что превращения ($\alpha \rightarrow \gamma$) в них идут в неравновесных условиях в отличие от традиционных методов термического упрочнения с медленным нагревом. При сверхбыстром нагреве отсутствует выдержка, необходимая для протекания превращения ($\alpha \rightarrow \gamma$), растворения карбидов с последующим перераспределением углерода и легирующих элементов. Поэтому образующийся аустенит имеет разные концентрации растворенных атомов углерода и легирующих элементов в отличие от гомогенного распределения при медленном печном нагреве. Для подтверждения этих положений проведены специальные исследования по определению химического состава стали по глубине плазменного упрочнения и неупрочненной зоны на искровом спектрометре SPECTROLABJr^{CCD} фирмы Leica Microsystems. Данные химического анализа по глубине плазменного упрочнения и неупрочненной зоны, представленные в табл. 2 подтверждают химическую микронеоднородность структурных и фазовых составляющих исследованной стали.

Таблица 2 - Данные химического состава по глубине плазменного упрочнения и неупрочненной зоны

Наименование зон по глубине упрочнения	Химический состав, % (ат.)								
	C	Si	V	Mn	Fe	W	Ti	Cr	S
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t 2	0,06	0,002	-	0,063	0,855	0,008	-	-	-
t 3	0,5	0,002	0	0,06	0,87	0,02	0,0002	-	0,0005
t 4	0,002	-	0,001	0,065	0,87	0,009	-	0,001	0,002
t 5	0,05	0,0005	0,001	0,062	0,86	0,018	0,004	-	0,002
t 6	0,047	0,0035	-	0,072	0,87	-	-	0,001	-
t 7	0,035	0,004	-	0,068	0,89	0,002	0,0026	-	-
t 8	0,02	0,0018	0,0027	0,07	0,88	0,019	-	-	-
t 9	0,027	0,0025	0,0023	0,065	0,88	-	-	-	-
t 10	0,03	0,004	-	0,074	0,86	0,026	-	-	-
t 11	0,04	0,004	0,001	0,069	0,88	-	0,003	-	-
Основа	0,008	-	-	0,059	0,90	-	-	-	-

Видно, что содержание углерода по глубине упрочненной зоны колеблется от 0,002 до 0,06 % (ат.). Такую же микронеоднородность по глубине закаленной зоны имеют и другие постоянные примеси стали (Si, Mn, V и др.).

При параметрах нагрева и скорости охлаждения, характерных для плазменной обработки, процессы, связанные с гомогенизацией жидких и твердых растворов, не успевают завершиться в объеме отдельных зерен и это способствует созданию неравновесных метастабильных структур высокой твердости с хорошим сопротивлением износу и микросхватыванию в процессе трения [16,20].

Выводы

1. Поверхностная плазменная обработка позволяет значительно увеличить скорости нагрева и остывания по сравнению с традиционными методами термической модификации, в результате чего образуется градиентно-слоистая структура в поверхностном слое. Структура таких сталей характеризуется повышенной дисперсностью и более высоким уровнем внутренних (остаточных) напряжений, а также ярко выраженной химической микронеоднородностью.

2. В упрочненной зоне с толщиной ~ 0.8 мм лемеха плуга из конструкционной стали 65Г при поверхностной плазменной закалке формируется градиентно-слоистая (смешанная) структура, состоящая из мелкодисперсной смеси продуктов распада аустенита с микротвердостью, снижающейся от поверхности к центральным зонам в интервале 429,3-215,2 HV_{0.5}. Меняя параметры нагрева можно управлять размером зерна аустенита к моменту начала ($\alpha \rightarrow \gamma$) превращения, а меняя параметры охлаждения, управлять дисперсностью мартенсита при обратном ($\gamma \rightarrow \alpha$) превращении.

3. При нагреве поверхности детали плазменной дугой основные характеристики термического цикла: максимальная температура нагрева, время пребывания данной точки детали выше верхней критической точки Ас₃, скорости нагрева и охлаждения определяются сочетанием параметров режима плазменной закалки и взаимосвязаны, что указывает на необходимость строго придерживаться выбранного режима для получения заданной глубины и твердости поверхностного слоя.

Список литературы

1. Балановский А.Е. Основные вопросы поверхностного плазменного упрочнения металлов. // Упрочняющие технологии и покрытия. Обзор. Ч. 3, 2016, № 2, с.20-30.
2. Бровер А.В. Структурные особенности процесса поверхностного упрочнения стали концентрированными потоками энергии. // Материаловедение. – 2005. - № 9. - С. 18-23.
3. Коротков В.А., Ананьев С.П., Шекуров А.В. Исследование влияния скорости охлаждения на качество поверхностного слоя при плазменной закалке. // Сварочное производство. – 2012. - №3. - С.23-27.
4. Канаев А.Т., Жусин Б.Т., Сарсенбаева Т.Е., Гуляренко А.А. Плазменная закалка сменных деталей почворежущих сельскохозяйственных машин. // Технология машиностроения. Обзорно-аналитический, научно-технический и производственный журнал. – 2017. - 10 (184). - С. 31-36.
5. Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин. / Под ред. Шилова И.Н. - Минск: БГАТУ, 2010. - 320 с.
6. Самойлович Ю.А. Теплофизическая модель плазменной закалки плужного лемеха сельскохозяйственных машин. // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2018. Т. 14. - № 12. - С. 557-565.
7. Канаев А.Т., Сарсембаева Т.Е., Гуляренко А.А., Аязбаева А.Б. Градиентно-слоистая структура, сформированная на поверхности колесной стали при плазменной закалке. // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. – 2020. - № 2 (105). - С.265-273.
8. Сафонов Е.Н., Пыстогов А.А. Плазменная закалка деталей малой массы. // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2016. - № 7. - С.30-33
9. Коротков В.А. Новое в поверхностной закалке. // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. - № 11. – С. 42-46.
10. Канаев А.Т., Сарсембаева Т.Е., Гуляренко А.А., Аязбаева А.Б. Градиентно-слоистая структура, сформированная на поверхности колесной стали при плазменной закалке. // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. – 2020. - № 2 (105). - С.265-273.

11. Гольдштейн М.И., Литвинов В.С., Бронфин Б.М. Металлофизика высокопрочных сплавов. – М.: Металлургия, 1996. - 312 с.
12. Тушинский Л.И. Структурная теория конструкционной прочности материалов. – Новосибирск. Изд-во НГТУ. – 2004. - 400 с.
13. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. - М.: Металлургия, 1996, 480 с.
14. Попова Л. Е, Попов А.А. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана. Справочник термиста. – М.: Металлургия, 1991. - 503 с.
15. Гуляев А.П. Металловедение. - М.: Металлургия, 1986. - 541 с.
16. Самойлович Ю.А. Теплофизическая модель плазменной закалки плужного лемеха сельскохозяйственных машин. Упрочняющие технологии и покрытия. – 2018. – Т. 14. - № 12. - С.557-565.
17. Балановский А.Е. Основные вопросы теории плазменного поверхностного упрочнения металлов. Упрочняющие технологий и покрытия. Обзор. Ч. 1. – 2015. - № 12. - С.18-30.
18. Исакаев Э.Х., Ильичев М.В., Тюфтяев А.С., Филиппов Г.А. Особенности структурообразования и формирования свойств при плазменной обработке углеродистой стали. // Материаловедение, 2003. - № 2. - С.52-55.
19. Кидин И.Н. Физические основы электротермической обработки металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1989. - 376 с.
20. Домбровский Ю.М. Физические основы и технологии плазменного поверхностного упрочнения. // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2007. - № 3. - С.14-25.

А.Е. Молдахметова, А.Т. Канаев, М.А. Сайдуллаева, Т.Е. Сарсембаева

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,

Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Плазмалық шыңдау кезінде конструкциялық болаттан жасалған ауыр жүктелген бөлшектердің беткі қабатының құрылымын өзгерту

Аңдатпа. Мақалада топырақ кесетін машиналардың ауыр жүктелген, тез тозатын бөлшектерін нығайту процестеріне плазмалық қатаюдың әсерін зерттеу ұсынылған. Зерттеу нәтижелері 65Г құрылымдық болаттан жасалған соқаның қалыңдығы ~ 0.8 мм қатайтылған аймақта беттік плазмалық қатайту кезінде 429,3-215,2 HV0.5 аралығында бетінен орталық аймақтарға дейін төмендейтін микро қаттылықпен аустениттің ыдырау өнімдерінің ұсақ дисперсті қоспасынан тұратын градиент-қабатты (аралас) құрылым пайда болатындығын көрсетті.

Градиент-қабатты құрылымының пайда болуы және оның қасиеттері беттік плазмалық өңдеу процесінде қыздыру мен салқындатудың өте жоғары жылдамдығына байланысты екендігі расталды, бұл дәстүрлі термиялық өңдеу әдістерімен жүретін процестерден айтарлықтай ерекшеленеді.

Плазмалық қыздыру режимі параметрлерінің плазмалық доғамен қызған кездегі жылу циклінің негізгі сипаттамаларына әсері анықталды, сонымен қатар, беттік модификацияланған қабаттың қажетті тереңдігі мен қаттылығына қол жеткізу режимі анықталды.

Кілт сөздер: құрылымдық болат, плазмалық қатайту, қатайту, ауыр жүктеме бөліктері, градиент қабат құрылымы, аралық қашықтық, қасиеттер, микро қаттылық.

A.Y. Moldakhmetova, A.T. Kanayev, M.A. Saidullayeva, T.E. Sarsembayeva
S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Changes in the structure of the surface layer of heavily loaded parts from structural steel with plasma hardening

Abstract. The article presents the research on plasma hardening's impact on the processes of hardening heavily loaded wear parts of soil-cutting machines. The results of the research showed that in the hardened zone with a thickness of ~ 0.8 mm of a plow share made of 65G structural steel during surface plasma hardening, a gradient-layered (mixed) structure is formed, consisting of a finely dispersed mixture of austenite decomposition products with microhardness decreasing from the surface to the central zones in the interval of 429,3-215,2 HV_{0.5}.

The article confirms the formation of a gradient-layered structure and its properties are due to ultra-high heating and cooling rates during surface plasma treatment, which differs significantly from the processes occurring during traditional heat treatment methods.

The authors established the impact of the parameters of the plasma hardening mode on the main characteristics of the thermal cycle under heating by a plasma arc. The mode is determined to achieve the required depth and rigidity of the surface-modified layer.

Keywords: structural steel, plasma hardening, hardening, heavily loaded parts, gradient layered structure, plate spacing, properties, microhardness.

References

1. Balanovskij A.E. Osnovnye voprosy poverhnostnogo plazmennogo uprochneniya metallov. Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya, Obzor, CHast' 3 [The main issues of surface plasma hardening of metals. Hardening technologies and coatings, Review, Part 3], 2016, № 2, s.20-30
2. Brover A.V. Strukturnye osobennosti processa poverhnostnogo uprochneniya stali koncentrirovannymi potokami energii [Structural features of the process of surface hardening of steel by concentrated energy flows]. Materialovedenie 2005, № 9, s. 18-23
3. Korotkov V.A., Anan'ev S.P., SHekurov A.V. Issledovanie vliyaniya skorosti ohlazhdeniya na kachestvo poverhnostnogo sloya pri plazmennoj zakalke. Svarochnoe proizvodstvo [Investigation of the effect of the cooling rate on the quality of the surface layer during plasma quenching. Welding production], 2012, №3, s.23-27
4. Kanaev A.T., ZHusin B.T., Sarsenbaeva T.E., Gulyarenko A.A. Plazmennaya zakalka smennykh detalej pochvorezhushchih sel'skohozyajstvennykh mashin. Tekhnologiya mashinostroeniya, Obzorno-analiticheskij, nauchno-tekhnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal [Plasma hardening of replaceable parts of soil-cutting agricultural machines. Mechanical engineering technology, Review and analytical, scientific, technical and production journal], 2017, 10 (184), 31 -36 s.
5. Povyshenie rabotosposobnosti detalej rabochih organov sel'skohozyajstvennykh mashin [Improving the operability of parts of working bodies of agricultural machines]. Pod red. SHilova I.N., Minsk: BGATU, 2010,320 s.
6. Samojlovich YU.A. Teplofizicheskaya model' plazmennoj zakalki pluzhnogo lemekha sel'skohozyajstvennykh mashin. Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya [Thermophysical model of plasma hardening of plowshare of agricultural machines. Hardening technologies and coatings], 2018, Tom 14, № 12, s. 557-565
7. Kanaev A.T., Sarsembaeva T.E., Gulyarenko A.A. Ayazbaeva A.B. Gradientno-sloistaya struktura, sformirovannaya na poverhnosti kolesnoj stali pri plazmennoj zakalke [Gradient-layered structure formed on the surface of wheel steel during plasma quenching]. Vestnik nauki Kazahskogo

agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seifullina, 2020, № 2 (105), s.265-273.

8. Safonov E.N., Pystogov A.A. Plazmennaya zakalka detalej maloj massy. Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya [Plasma hardening of low-mass parts. Hardening technologies and coatings], 2016, № 7, s.30-33

9. Korotkov V.A. Novoe v poverhnostnoj zakalke. Gornoe oborudovanie i elektromekhanika [New in surface hardening. Mining equipment and electromechanics]. 2011, № 11, s 42-46

10. Kanaev A.T., Sarsembaeva T.E., Gulyarenko A.A., Ayazbaeva A.B. Gradientno-sloistaya struktura, sformirovannaya na poverhnosti kolesnoj, stali pri plazmennoj zakalke [Gradient-layered structure formed on the surface of wheel steel during plasma quenching]. Vestnik nauki Kazahskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seifullina, 2020, № 2 (105), s.265-273.

11. Gol'dshtejn M.I., Litvinov V.S., Bronfin B.M. Metallofizika vysokoprochnykh splavov [Metallophysics of high-strength alloys]. Moskva, Metallurgiya, 1996, 312 s.

12. Tushinskij L.I. Strukturnaya teoriya konstrukcionnoj prochnosti materialov [Structural theory of structural strength of materials]. Novosibirsk, izd-vo NGTU, 2004, 400s.

13. Novikov I.I. Teoriya termicheskoy obrabotki metallov [Theory of heat treatment of metals]. M.: Metallurgiya, 1996, 480 s.

14. Popova L. E, Popov A.A. Diagrammy prevrashcheniya austenita v stalyah i beta-rastvora v splavah titana [Diagrams of transformation of austenite in steels and beta solution in titanium alloys]. Spravochnik termista. Moskva, Metallurgiya, 1991, 503 s.

15. Gulyaev A.P. Metallovedenie [Metallurgy], M.: Metallurgiya, 1986, 541s.

16. Samojlovich YU.A. Teplofizicheskaya model' plazmennoj zakalki pluzhnogo lemekha sel'skohozyajstvennykh mashin [Thermophysical model of plasma hardening of plowshare of agricultural machines. Hardening technologies and coatings]. Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya, 2018, Tom 14, № 12, s.557-565

17. Balanovskij A.E. Osnovnye voprosy teorii plazmennogo poverhnostnogo uprochneniya metallov [The main issues of the theory of plasma surface hardening of metals. Hardening technologies and coatings]. Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya, Obzor, CHast'1, 2015, № 12, s.18-30

18. Isakaev E.H., Il'ichev M.V., Tyuftyaev A.S., Filippov G.A. Osobennosti strukturoobrazovaniya i formirovaniya svoystv pri plazmennoj obrabotke uglerodistoj stali. Materialovedenie [Features of structure formation and formation of properties during plasma treatment of carbon steel. Materials Science], 2003, № 2, s.52-55

19. Kidin I.N. Fizicheskie osnovy elektrotermicheskoy obrabotki metallov i splavov [Physical bases of electrothermal treatment of metals and alloys]. Moskva, Metallurgiya, 1989, 376 s.

20. Dombrovskij YU.M. Fizicheskie osnovy i tekhnologii plazmennogo poverhnostnogo uprochneniya. Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya [Physical foundations and technologies of plasma surface hardening. Hardening technologies and coatings], 2007, № 3, s.14-25.

Сведения об авторах:

Молдахметова А.Е. – докторант кафедры «Стандартизация, сертификация и метрология», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, пр. Женис, 62, Нур-Султан, Казахстан.

Канаев А.Т. – доктор технических наук, профессор кафедры «Стандартизация, сертификация и метрология» Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, пр. Женис, 62, Нур-Султан, Казахстан.

Сайдуллаева М.А. – докторант кафедры «Стандартизация, сертификация и метрология» Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, пр. Женис, 62, Нур-Султан, Казахстан.

Сарсембаева Т.Е. – PhD, старший преподаватель кафедры «Стандартизация, сертификация

и метрология» Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, пр. Женис, 62, Нур-Султан, Казахстан.

Moldakhmetova A.Y. – Ph.D. student of the Department "Standardization, Certification and Metrology", S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, 62 Zhenis str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

Kanayev A.T. – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department "Standardization, Certification and Metrology", S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, 62 Zhenis str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

Saidullayeva M.A. – Ph.D. student of the Department "Standardization, Certification and Metrology", S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, 62 Zhenis str., Nur-Sultan, Kazakhstan. named after S. Seifullin, Zhenis, 62, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Sarsembayeva T.E. – Ph.D., Senior lecturer at the Department "Standardization, Certification and Metrology", S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, 62 Zhenis str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

I.A. Pak¹, N.I. Baurova², B.K. Kurmasheva¹, A.Zh. Karsakova¹,
I.A. Kadyrova³

¹Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,

²Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia;

³Karaganda medical University, Karaganda, Kazakhstan

(E-mail: i.pak@mail.ru, n.baurova@mail.ru, happiness_b@mail.ru, karsakova84@mail.ru, irina.adilevna@gmail.com)

Technical and Economic Efficiency of Devices for Ultrasonic Cleaning of City Bus Exhaust Gases

Abstract. The article substantiates the use of devices for ultrasonic cleaning of exhaust gases for city buses, provides the design and principle of operation of an accumulative device for ultrasonic cleaning of exhaust gases, as well as layout solutions for their placing on buses. A calculation method is presented that makes it possible to determine the main parameters of ultrasonic equipment for cleaning and disposal of exhaust gases from internal combustion engines of city buses, as well as to calculate the proportion of finely dispersed soot particles deposited, which characterizes the degree of purification of exhaust gases from fine soot particles, based on which there is calculated economic efficiency of ultrasonic cleaning devices.

Keywords: city bus, internal combustion engine, exhaust gases, storage device, ultrasonic cleaning, coagulation, recycling.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-139-2-133-142

Introduction

In large cities with a large traffic flow, the issue of gas pollution from the exhaust gases of internal combustion engines of vehicles is acute. In the area of bus stops, at intersections, where there is a large accumulation of public vehicles, the most intense air pollution by combustion products occurs, and the highest concentration of toxic and polluting components of exhaust gases is recorded, which negatively affects people's health.

Despite the measures taken, such as introducing the Euro environmental standards, the control of exhaust gas toxicity during technical inspections of vehicles, etc., the situation with environmental pollution remains tense. In most cities of Kazakhstan, the pollution indicator exceeds the permissible norm by several times. In 2021, clean air was only in Aktau and Petropavlovsk [1].

Increasing the number of diseases including cancer, for which Kazakhstan ranks among the first places in the Commonwealth of Independent States (CIS) countries, is currently associated with significant environmental pollution [2].

At present, when assessing the environmental situation, much attention is paid to the content of finely dispersed particles in the air with the size of 2.5 microns or smaller. The microscopic size of such particles permits them to be deeply absorbed into the bloodstream when inhaled, potentially causing diseases such as asthma, lung cancer, heart disease, migraines, Alzheimer's, Parkinson's and others.

The central streets of the city are most susceptible to pollution, especially during "rush hours". In the central part of the city of Karaganda, there is a ban on the trucks passing with the gross weight of more than 3.5 tons. However, alongside with passenger cars, shuttle buses carry passengers along the central streets of the city. They are mainly equipped with diesel engines characterized by increased soot formation.

To reduce the content of soot particles in the exhaust gases, various filters are used. A device is

known for cleaning exhaust gases from small solid particles by filtering gases through porous partitions or a special woolen, cotton or glass cloth.

Regenerative type filters are considered to be one of the best design solutions for a soot trap [3, 4, 5].

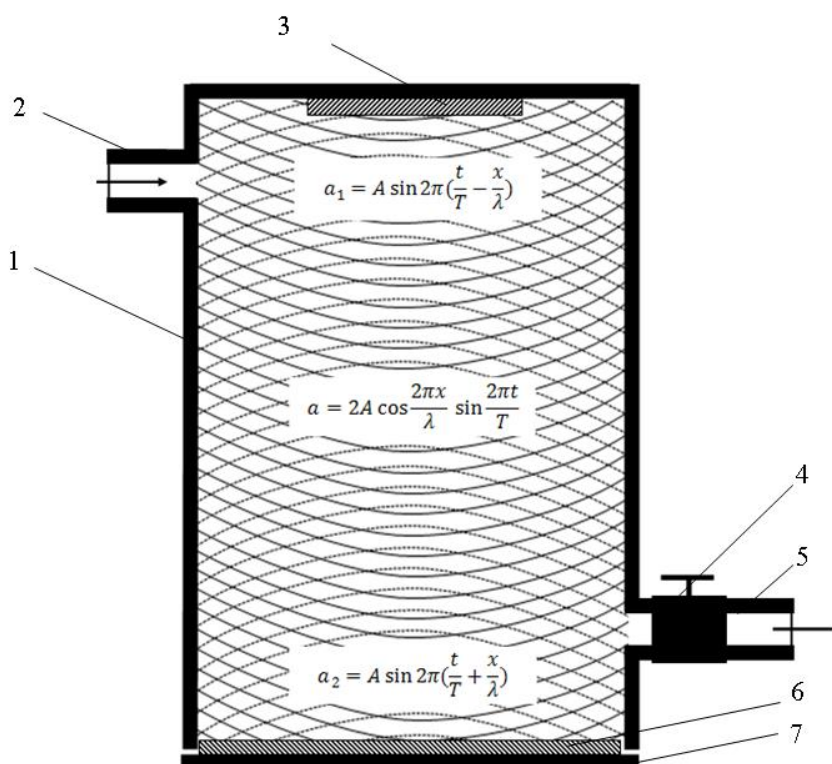
They are a honeycomb nozzle with rectangular cells. The filter material is porous cordierite (porous ceramics) with sufficient mechanical strength, resistance to aggressive chemicals, resistance to melting and cracking under thermal effects, as well as thermal stability. Such filters are now widely used on motor vehicles. However, according to the studies by German scientists, "existing filters do not retain microparticles that are smaller than 10 microns and aromatic fractions, and these exhaust components most of all initiate the development of cancer. Moreover, as the filters are used, deposits accumulate in them, and instead of retaining the most dangerous microparticles for health, the filters become their source" [6].

In connection with the foregoing, it is necessary to modernize the existing and to develop new exhaust gas control systems.

Design and principle of operation of the device for cleaning and utilizing exhaust gases

The authors propose a device for ultrasonic cleaning and utilizing exhaust gases (Figure 1) [7], which, unlike the filters used, does not burn out solid particles accumulated in the course of the cleaning process, mainly soot, but allows collecting and utilizing exhaust gases, as well as limiting their emission into the atmosphere, while reducing the concentration of harmful substances in the air in places where vehicles are most congested (bus stops, intersections, etc.).

The accumulative device of ultrasonic purification of exhaust gases developed allows cleaning by coarsening and depositing soot particles with their subsequent disposal. Soot emissions from diesel engines are up to 15 kg per ton of fuel burned. In the world practice, there has been a tendency to consider soot as a secondary material resource (carbon black) with its use for the needs of the tire industry [3].



1 - storage tank; 2 – inlet branch pipe; 3 – ultrasonic generator; 4 - bypass valve; 5 - outlet pipe; 6 - reflector of sound waves; 7 - tray

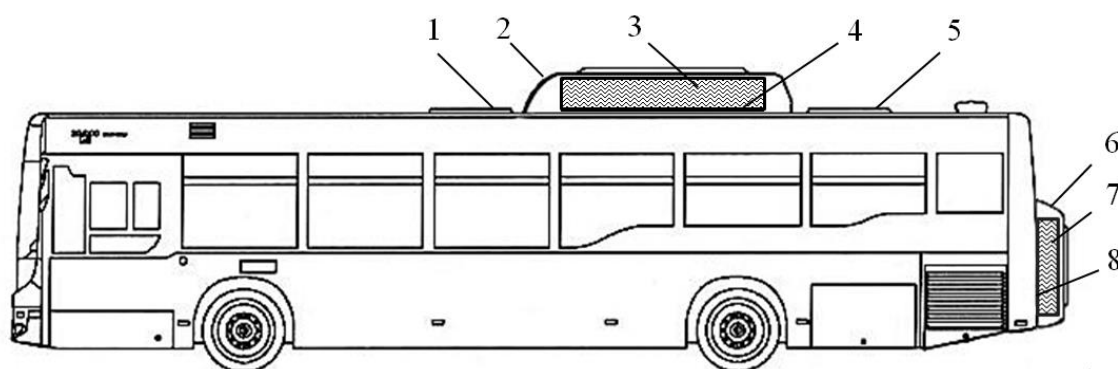
Figure 1 - Device for ultrasonic cleaning of exhaust gases

The device contains a storage tank with an inlet pipe and an outlet pipe with a bypass valve. An ultrasonic generator is mounted in the storage tank, there is a sound wave reflector in the lower part, and the device tray is removable [8, 9].

From ultrasonic generator 3 located on top, there arises a direct wave. On tray 7 of the tank there is reflector of sound waves 6. When reflected, the direct and reflected waves move towards each other, interference occurs and a standing wave is formed. When the standing wave occurs, the efficiency of the coagulation process increases significantly.

The experiments and calculations performed showed increasing the intensification of the coagulation processes of soot particles under the action of ultrasound [9, 10].

It is proposed to place on city buses two containers that work alternately (Figure 2). That is, at the time when the first container is filled with exhaust gas, the second container that is already filled with exhaust gas, is ultrasonically cleaned.



1, 5 - ventilation hatches of the bus; 2, 6 - soundproof casing;
3, 7 - ultrasonic exhaust gas cleaning device; 4, 8 - soundproof gaskets

Figure 2 - Ultrasonic equipment placement on the roof and in the back of the bus

Feasibility study of the efficiency of devices for ultrasonic cleaning of exhaust gases of city buses

To determine the required volume of the storage tank needed for the most efficient operation of ultrasonic cleaning equipment, and to establish the degree of the exhaust gas purification, it is necessary to determine the rational time for ultrasonic treatment of the exhaust gas.

Let's take the entire volume of soot present in the tank, both in suspension and settled on the bottom of the device as a result of coagulation, as a unit, and determine what part of the solid particles is deposited using the formula for the dependence of the calculated concentrations of suspended solid particles of gas on time:

$$n = n_0 \exp(-kt), \quad (1)$$

where n and n_0 are the number concentrations of aerosol particles, current and at the initial moment, respectively; k is the coagulation coefficient; t is the time.

The empirical dependence of changing the coagulation coefficient on time has the following form:

$$k = (-0.0000012t^3 + 0.0012994t^2 - 0.4562322t + 69.30) \cdot 10^{-4}. \quad (2)$$

The $s=1-n$ value characterizes the amount of deposited solid particles and determines the degree of the exhaust gases purification from solid particles. Assuming that at the initial time $t = 0$, all the soot particles are in suspension $n_0 = 1$, $s = 0$.

$$n = n_0 \exp(-(-0.0000012t^3 + 0.0012994t^2 - 0.4562322t + 69.3) \cdot 10^{-4} \cdot t); \quad (3)$$

$$s = 1 - n_0 \exp(-(-0.0000012t^3 + 0.0012994t^2 - 0.4562322t + 69.3) \cdot 10^{-4} \cdot t). \quad (4)$$

The calculation results are presented in Table 1.

Table 1 – Calculating the degree of the exhaust gases purification s depending on the time of irradiation with ultrasound

t	k	n₀	n	s
0	0.00693	1.00	1	0
60	0.004634	1.00	0.76	0.24
120	0.003119	0.76	0.52	0.48
180	0.002228	0.52	0.35	0.65
240	0.001806	0.35	0.23	0.77
300	0.001698	0.23	0.14	0.86
360	0.001747	0.14	0.07	0.93
420	0.001799	0.07	0.03	0.97
480	0.001698	0.03	0.02	0.98
540	0.001288	0.02	0.01	0.99
600	0.000414	0.01	0.01	0.99

The graphs of the $n(t)$ and $s(t)$ dependence are shown in Figure 3. According to the graph of the $s(t)$ dependence, there is determined the required time of exposure to ultrasound for a given degree of purification. For example, for 80 % degree of purification, the required time of ultrasonic exposure will be $t = 260$ s.

The volume of the storage tank is calculated based on the hourly fuel consumption of the engine at idle q_{xx} and the ratio established in work [11]: for 1 liter of fuel consumed, there is required the storage tank with the volume of 16 m^3 and is calculated by the formula:

$$V = 16 * q_{xx} / 3600 * t, \text{ m}^3 \quad (5)$$

If the fuel consumption of a city bus at idle q_{xx} is 2 l/h and the required ultrasonic exposure time $t = 260$ s, then:

$$V = 16 * \frac{2}{3600} * 260 = 2,31 \text{ m}^3.$$

The given calculation method makes it possible to determine the main parameters of ultrasonic equipment for cleaning and recycling of internal combustion engines exhaust gases of city buses, as well as to calculate the proportion of finely dispersed soot particles deposited, on the basis of which the economic efficiency of ultrasonic exhaust gas cleaning devices is calculated.

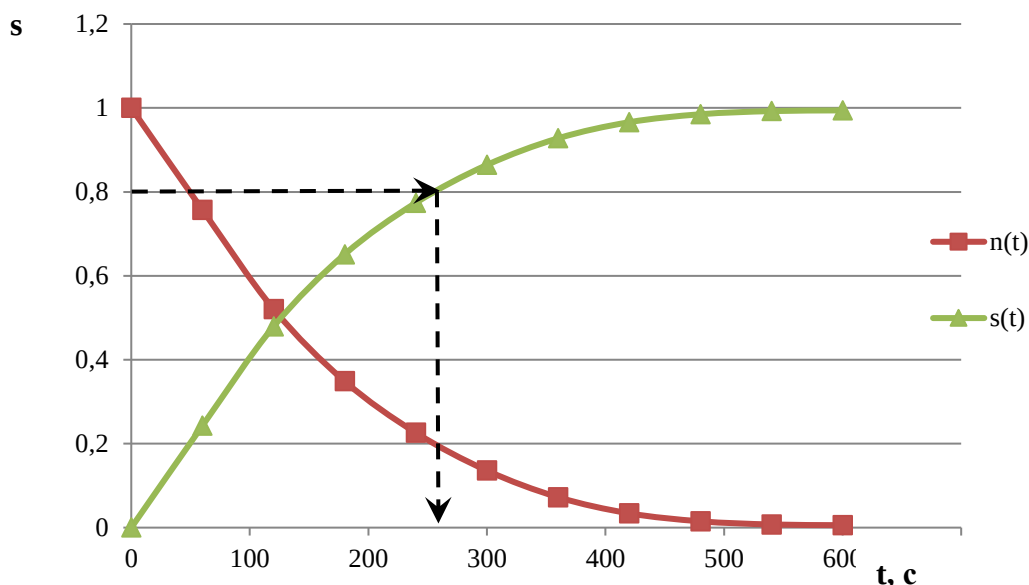


Figure 3 - Graphs of the number concentrations of the gas suspended solid particles $n(t)$ and the degree of the exhaust gases purification $s(t)$

The economic efficiency (E) can be expressed through the prevented environmental and economic damage (ΔU), which is determined by the formula [12, 13]:

$$E = \Delta U = U_1 - UY_2, \text{ tenge/year}, \quad (6)$$

where U_1 is the annual environmental and economic damage before the events, tenge/year;

U_2 is the annual environmental and economic damage after the events, tenge/year;

$$U = \sigma \cdot \gamma \cdot f \cdot M, \text{ tenge/year}, \quad (7)$$

where σ is the dimensionless indicator accounting for the type of the territory polluted ($\sigma=4$ for Karaganda);

γ is the of valuating 1 conv. tons of pollutants, tenge/conv.t (assumed equal to 1 MCI);

f is the dimensionless coefficient accounting for the nature of the nature of the impurities dispersion in the atmosphere (since motor transport is an unorganized source, the indicator $f=10$);

M is the reduced mass of a pollutant, standard tons/year, determined by the formula:

$$M = \sum_{i=1}^N m_i \cdot A_i, \quad (8)$$

where m_i is the annual mass of the i -th matter emission, t/year;

A_i is the coefficient of relative hazard of the i -th matter, conv.t (in this case for soot $A = 20$ cond.t) is determined by the formula:

$$A_i = \frac{1}{MPC_i}, \quad (9)$$

where MPC_i is the average daily MPC of the i -th matter, mg/m³, (soot MPC is 0.05 mg/m³).

Thus, the prevented environmental and economic damage is determined by the formula:

$$E = \Delta U = \sigma \cdot \gamma \cdot f \cdot A_i \cdot (m_1 - m_2), \text{ tenge/year}, \quad (10)$$

where m_1 is the annual mass of emission before the events, t/year;

m_2 is the annual mass of emission after the events, t/year.

Let us calculate the environmental and economic efficiency of devices for ultrasonic cleaning of exhaust gases from internal combustion engines of large-class buses operating on intracity transportation.

The initial data for the calculation are presented in Table 2.

Table 2 - Initial data for calculating the environmental and economic efficiency

Indicators	Values
Average daily mileage l_{cc} , km	180
Output ratio α	0.76
Time on duty, h	16
Dimensionless indicator, taking into account the type of polluted territory ϵ	4
Cost estimate of 1 conv. tons of pollutants γ , tenge/cond.t	2778
Dimensionless coefficient that accounts for the nature of impurities dispersion in the atmosphere, f	10
Coefficient of relative hazard of the i-the matter A_i , cond/t	20

The annual masses of soot emission before and after the introduction of devices, considering the 80 % level of ultrasonic cleaning, will be determined by the method described in the literature [12, 13].

The calculation results are shown in Table 3. The following designations are used in Table 4.3:

W, WH, H – storage conditions of buses, respectively, warm parking, parking without heating, parking equipped with heating facilities;

W, C – warm and cold period of the year, respectively.

Table 3 - Calculating the environmental and economic efficiency of devices for ultrasonic cleaning of exhaust gases of diesel internal combustion engines of large class buses

Indicators	Large class buses of the CIS production			Large class buses of foreign production		
	W	WH	H	W	WH	H
Soot emissions of large class buses during warming up, g/min	0.04	0.16	0.08	0.02	0.04	0.03
Warm-up time, min	1.5	22	6	1,5	22	6
Daily soot emission during heating, g	0.06	3.52	0.48	0.03	0.88	0.18
Running soot emissions of large class buses, g/km	W	C	Average	W	C	Average
	0.25	0.35	0.28	0.2	0.3	0.23
Soot emissions of large class buses at idle, g/min	0.04			0.02		

The daily mass of soot emitted by a large class bus during warming up, given that 70% of buses park in warm boxes in the ATP, 20% in heated parking lots, 10% without heating in cold months, g	0.20	0.07
Daily mass of soot emitted by a large class bus for an average daily run, g	51.00	42.00
The daily mass of soot emitted by a bus of a large class at idle, given that in urban conditions $T_{xx}=0.4T_n$, g	15.36	7.68
Total daily soot emission of a large class bus, g	66.56	49.75
Annual soot emission m_1 before the introduction of equipment, taking into account the emission factor, g	18464.67	13800.19
Annual soot emission m^2 after the introduction of the equipment, taking into account the emission factor, g	3692.93	2760.04
Environmental damage, tenge	41035.9	30669.5
Environmental damage after the introduction of equipment, tenge	8207.2	6133.9
Economic effect from damage reduction, tenge	32828.7	24535.6

Conclusion

The results of the feasibility study show the effectiveness of using ultrasonic cleaning devices in road transport, especially in the conditions of operating areas prone to the greatest pollution: bus stops, intersections, etc. In addition, the economic effect will be increased due to the utilization of the soot collected in the course of the ultrasonic cleaning process.

References

1. Bozhenko Ya. Environmental problems of Kazakhstan and ways to solve them. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.nur.kz/fakty-i-layfhaki/1666860-ekologicheskie-problemy-kazakhstana/>. (Date of access: 08/01/2021).
2. Chigarkin A. V. Geoecology of Kazakhstan (geographical aspects of nature management and conservation): textbook. allowance for un-comrade. Almaty: Kazakh University, 2006. 414 p.
3. Ecology and environmental safety of the car: textbook / M.V. Grafkina, V.A. Mikhailov, K.S. Ivanov. 2nd ed., rev. and add. M.: FORUM: INFRA-M, 2016. 320 p. (Professional education).
4. Baturin N.V., Titov D.N., Medvedev G.V., Novoselov A.A., Grabovskaya N.N. Improving the design of diesel engines and their environmental performance // Polzunovskiy Bulletin. 2009. No. 1-2. P. 73–80.
5. What is a particulate filter? [Electronic resource]. Access mode: <http://avto-blogger.ru/texchast/sazhevyj-filtr.html>. (Date of access: 09/10/2019).
6. Tsintsevich L. To make the air cleaner. Modern technologies for cleaning exhaust gases. [Electronic resource]. Access mode: <https://sitmag.ru/article/10586-chtoby-vozduh-stal-chishche-sovremennye-tehnologii-ochistki-otrabotavshih-gazov>. (Date of access: 20/02/2022).

7. Kadyrov A.S., Pak I.A., Kadyrova I.A., Ganyukov A.A. Physics of the process of ultrasonic coagulation of exhaust gases of internal combustion engines of motor vehicles. Vestnik PGU. Energy series. Pavlodar: PSU, 2020. No. 1. P.219-230.

8. Ibatov M.K., Pak I.A. The device for cleaning exhaust gases of transport equipment. Proceedings of the Intern. scientific-practical. conf. "Integration of science, education and production - the basis for the implementation of the Plan of the Nation" (Saginovsky Readings No. 11), Karaganda: KSTU, 2019. P. 335-336.

9. Ibatov M.K., Kadyrov A.S., Pak I.A., Kadyrova I.A., Askarov B.Sh. Results of experimental studies of the operation of capacitive equipment for ultrasonic cleaning of vehicle exhaust gases. Coal. M.: LLC "Editorial office of the Coal Journal, 2020. No. 2. P. 73-78. DOI: 10.18796/0041-5790.

10. Kadyrov A., Ganyukov A., Pak I., Suleyev B., Balabekova K. Theoretical and Experimental Study of Operation of the Tank Equipment for Ultrasonic Purification of the Internal Combustion Engine Exhaust Gases. // Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 23(3), B219-B226. <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.3.B219-B226>.

11. Ibatov M.K., Aliev S.B., Balabayev O.T., Askarov B.Sh. The main results of experimental studies of the isolation of the exhaust gases of internal combustion engines of mining diesel locomotives. Coal. M.: LLC "Editorial office of the journal" Coal ", 2019. No. 7. P.28-30.

12. Methodology of calculating emissions of pollutants from motor transport enterprises. Appendix No. 3 to the Order of the Minister of Environmental Protection of the Republic of Kazakhstan dated April 18, 2008 No. 100-p.

13. Ecological expertise and environmental audit: textbook and workshop for SPO / E.Yu. Kolesnikov, T.M. Kolesnikov. 2nd ed. rev. and add. M : Yurayt Publishing House, 2019. 469 p. (Series: Vocational education).

**И.А. Пак¹, Н.И. Баурова², Б.К. Курмашева¹, А.Ж. Карсакова¹,
И.А. Кадырова³**

¹Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

²Мәскеу автомобиль-жол мемлекеттік техникалық университеті, Мәскеу, Ресей,

³Қарағанды медицина университеті, Қарағанды, Қазақстан

Қалалық автобустардың пайдаланылған газдарды ультрадыбыстық тазарту құрылғыларының техникалық-экономикалық тиімділігі

Аңдатпа. Мақалада қалалық автобустар үшін пайдаланылған газдарды ультрадыбыстық тазарту құрылғыларын қолдану негізделеді, пайдаланылған газдарды ультрадыбыстық тазартудың жинақтау құрылғысының конструкциясы мен жұмыс принципі, сондай-ақ автобустарға орнатудың орналасу шешімдері келтірілген. Қалалық автобустардың ішкі жану қозғалтқыштарының пайдаланылған газдарын тазарту және кәдеге жарату құрылғыларының ультрадыбыстық жабдықтарының негізгі параметрлерін анықтауға, сондай-ақ қалдықтарды ұсақ бөлшектерден тазарту дәрежесін сипаттайтын тұндырылған ұсақ бөлшектердің үлесін есептеуге мүмкіндік беретін есептеу әдісі ұсынылған, соның негізінде ультрадыбыстық құрылғылардың экономикалық тиімділігі есептеледі.

Кілт сөздер: қалалық автобус, ішкі жану қозғалтқышы, пайдаланылған газ, сақтау құрылғысы, ультрадыбыстық тазарту, коагуляция, кәдеге жарату.

И.А. Пак¹, Н.И. Баурова², Б.К. Курмашева¹, А.Ж. Карсакова¹,
И.А. Кадырова³

¹Карагандинский технический университет, Караганда, Казахстан

²Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Россия

³Медицинский университет Караганды, Караганда, Казахстан

Технико-экономическая эффективность устройств ультразвуковой очистки отработавших газов городских автобусов

Аннотация. В статье обосновывается применение устройств ультразвуковой очистки отработавших газов для городских автобусов, приводятся конструкция и принцип работы накопительного устройства ультразвуковой очистки отработавших газов, а также компоновочные решения установки на автобусах. Представлена методика расчета, позволяющая определить основные параметры ультразвукового оборудования устройств очистки и утилизации отработавших газов двигателей внутреннего сгорания городских автобусов, а также рассчитать долю осаждаемых мелкодисперсных сажевых частиц, характеризующую степень очистки отработавших газов от мелкодисперсных сажевых частиц. На основании этого рассчитывается экономическая эффективность ультразвуковых устройств очистки отработавших газов.

Ключевые слова: городской автобус, двигатель внутреннего сгорания, выхлопные газы, накопительное устройство, ультразвуковая очистка, коагуляция, утилизация.

Список литературы

1. Боженко Я. Экологические проблемы Казахстана и пути их решения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nur.kz/fakty-i-layfhaki/1666860-ekologicheskie-problemy-kazakhstana/>. (Дата обращения: 01.08.2021).
2. Чигаркин А. В. Геоэкология Казахстана (географические аспекты природопользования и охраны природы): учеб. пособие для ун-тов. – Алматы: Қазақ университеті, 2006. – 414 с.
3. Экология и экологическая безопасность автомобиля: учебник / М.В. Графкина, В.А. Михайлов, К.С. Иванов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2016. – 320 с. – (Профессиональное образование).
4. Батулин Н.В., Титов Д.Н., Медведев Г.В., Новоселов А.А., Грабовская Н.Н. Совершенствование конструкций дизелей и их экологические показатели // Ползуновский вестник. – 2009. – №1-2. – С. 73–80.
5. Что такое сажевый фильтр? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://avto-blogger.ru/texchast/sazhevyj-filtr.html> (Дата обращения: 10.09.2019).
6. Цинцевич Л. Чтобы воздух стал чище. Современные технологии очистки отработавших газов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sitmag.ru/article/10586-chtoby-vozduh-stal-chishche-sovremennye-tehnologii-ochistki-otrabotavshih-gazov>. (Дата обращения: 20.02.2022).
7. Кадыров А.С., Пак И.А., Кадырова И.А., Ганюков А.А. Физика процесса ультразвуковой коагуляции выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания автотранспортной техники // Вестник ПГУ. Энергетическая серия. – Павлодар: ПГУ, 2020. – №1. – С.219-230.
8. Ибатов М.К., Пак И.А. Устройство очистки выхлопных газов транспортной техники // Труды Междунар. науч.-практ. конф. «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения № 11), Караганда: КарГТУ, 2019. – С.335-336.
9. Ибатов М.К., Кадыров А.С., Пак И.А., Кадырова И.А., Аскарлов Б.Ш. Результаты экспериментальных исследований работы емкостного оборудования ультразвуковой очистки отработавших газов автотранспорта // Уголь. – М.: ООО «Редакция журнала «Уголь», 2020. № 2. – С. 73-78. DOI: 10.18796/0041-5790.

10. Kadyrov A., Ganyukov A., Pak I., Suleyev B., Balabekova K. Theoretical and Experimental Study of Operation of the Tank Equipment for Ultrasonic Purification of the Internal Combustion Engine Exhaust Gases. // Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 23(3), B219-B226. <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.3.B219-B226>.

11. Ибатов М.К., Алиев С.Б., Балабаев О.Т., Аскарров Б.Ш. Основные результаты экспериментальных исследований изоляции отработавших газов ДВС карьерных тепловозов. // Уголь. - М.: ООО «Редакция журнала «Уголь», 2019. - №7. - С.28-30.

12. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных предприятий/ Приложение № 3 к Приказу Министра охраны окружающей среды Республики Казахстан от «18» апреля 2008 года № 100-п.

13. Экологическая экспертиза и экологический аудит: учебник и практикум для СПО / Е.Ю. Колесников, Т.М. Колесникова. 2 изд. пер. и доп. –М.: Издательство Юрайт, 2019. - 469 с. - (Серия: Профессиональное образование).

Information about authors:

Pak I.A. - Ph.D., Senior Lecturer of the Department "Transport Equipment and Logistics Systems", Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan.

Baurova N.I. - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department "Production and Repair of Cars and Road Vehicles", Moscow Automobile and Road State Technical University, Moscow, Russia.

Kurmasheva B.K. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Transport and Road, Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan.

Karsakova A.Zh. - Ph.D., Senior Lecturer of the Department "Transport Equipment and Logistics Systems", Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan.

Kadyrova I.A. - Ph.D., Senior Researcher at the Research Center, Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan.

Пак И.А. - Ph.D, "Көлік техникасы және логистикалық жүйелер" кафедрасының аға оқытушысы, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан.

Баурова Н.И. - техника ғылымдарының докторы, "Автомобильдер мен жол машиналарын өндіру және жөндеу" кафедрасының профессоры, Мәскеу автомобиль-жол мемлекеттік техникалық университеті, Мәскеу, Ресей.

Курмашева Б.К. - техника ғылымдарының кандидаты, асс.профессор, жол-көлік факультетінің деканы, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан.

Карсакова А. Ж. - Ph.D, "Көлік техникасы және логистикалық жүйелер" кафедрасының аға оқытушысы, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан.

Кадырова И.А. - Ph.D, Ғылыми-зерттеу орталығының аға ғылыми қызметкері, Қарағанды медицина университеті, Қарағанды, Қазақстан.

Разработка эффективного высокопроизводительного вычисления для решения уравнения Пуассона

Аннотация. В данной статье рассматривается разработка эффективного высокопроизводительного вычисления для решения уравнения Пуассона. В работе был предложен подход параллельного программирования для численного решения двумерного уравнения Пуассона с использованием явной разностной схемы для одного компьютера. Дифференциальное уравнение в частных производных было заменено его конечно-разностным аналогом. В качестве технологии для распараллеливания был выбран на программно-аппаратной архитектуре (CUDA). Численные эксперименты проводятся для проверки и сопоставления эффективности предложенного подхода распараллеливания. Результаты сравниваются с результатами, полученными на основе моделирования с использованием центральных процессоров (CPU) и на графическом процессоре (GPU), который на основании сравнительного анализа показал эффективность параллельного численного алгоритма. Производительность алгоритмов была проиллюстрирована на архитектурах NVIDIA GTX 1050 и с последовательной реализацией Core(TM) i5-7500H.

Ключевые слова: CPU, GPU, уравнение Пуассона, CUDA, параллельная вычисления.

DOI doi.org/10.32523/2616-7263-2022-139-2-143-151

Введение

Одной из основных задач научных вычислений является разработка алгоритмов и вычислительных структур, оптимально использующих доступное оборудование. При применении гибридных суперкомпьютеров сложность в процессе выполнения кода еще больше усложняется, когда центральный процессор (CPU) интегрируется со вспомогательными ускоряющими вычислительными устройствами (Russkov и др., 2021, [1]).

Многоядерные алгоритмы на основе процессора остаются проблемой до тех пор, пока они не станут достаточно быстрыми в течение определенного периода времени. Многие крупные научные задачи требуют вычислительных затрат, а для этого необходимо использовать различные методы параллельной обработки. Для параллельной обработки используются модели Compute Unified Architecture (CUDA) вычислений на графических процессорах NVIDIA. GPU изначально были процессорами, которые ускоряли обработки графики. Универсальный вычислительный графический процессор широко используется в качестве платформы с параллелизмом для выполнения программ (Jodra и др., 2017, [2]). Для научных вычислений графические процессоры (GPU) стали важным ресурсом сокращения времени вычислений. Благодаря архитектуре CUDA [6], предлагаемой NVIDIA, GPU используется в качестве инструмента для обеспечения высокой производительности и системы параллельного программирования (Jiaquan и др., 2021, [3]). Зачастую в науке и технологиях для высокопроизводительных вычислений в качестве инструментов используются: квазитрехдиагональная система линейных уравнений (Li и др., 2016, [4]), однофазный поток (Dominguez и др., 2014, [5]), термический состав с химическими реакциями (Imankulov и др., 2018, [7]), проблема с добычей нефти (Imankulov и др., 2021, [8]), акустические

волны (Altybay и др., 2020, [9]), крупномасштабное моделирование в реальном времени клеточной модели Поттса (Tapia and D'Souza, 2009, [10]), поиск кратчайших уникальных подстрок с k-несоответствием (Schultz и др., 2021, [11]), первичная разведка залежей углеводородов.

При моделировании задач используется уравнение Пуассона: в уравнении Навье-Стокса несжимаемой жидкости для определения давления получают уравнение Пуассона; зажигание дуги переменного тока на холодных электродах в аргоне атмосферного давления (Santos и др., 2021, [12]); начальный слой и квазинейтральный предел трехмерных моделей электродиффузии (Wang and Jiang, 2021, [13]); обратные задачи оценки момента в размерности 2 (Leblond и Pozzi, 2021, [14]); физико-совместимые методы дискретизации (Palha и др., 2014, [15]); моделирование ветра; моделирование пространственного заряда.

Целью данной работы является параллельная реализация конечного разностного метода для решения двумерного уравнения Пуассона с использованием технология GPU-CUDA. В данной статье предложен подход к параллельному программированию для персональных компьютеров.

Статья структурирована следующим образом: в Разделе 2 представлен обзор теории и численной реализации двумерного уравнения Пуассона. Детали применяемых механизмов распараллеливания описаны в Разделе 3. Результаты, полученные с помощью технологий GPU-CUDA, представлены в Разделе 4, а в разделе 5 приводятся обобщающие выводы.

1. Постановка задачи

Численное решение уравнения Пуассона рассматривается в некоторой прямоугольной области:

$$\nabla^2 U = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = -f(x, y), (x, y) \in [0; l] \times [0; l], \quad (1.1)$$

граничные условия Дирихле:

$$u(x, 0) = 0, u(x, l) = 0, x \in [0; l], \quad (1.2)$$

$$u(0, y) = 1, u(l, y) = 1, y \in [0; l], \quad (1.3)$$

Теперь вводится прямоугольная сетка с шагами h_1 и h_2 по переменным x и y соответственно:

$$\Omega_{h_1, h_2} = \{x_i = ih_1, i = \overline{0, N}; y_j = jh_2, j = \overline{0, M}\}, \quad (1.4)$$

где $h_1 = l/(N-1)$, $h_2 = l/(M-1)$.

Методом конечных разностей аппроксимируем выражения (2.1)-(2.3). По каждому направлению для простоты положим $N := N = M$ и обозначим $h := h_1 = h_2$.

$$\frac{u_{i+1,j}^k - 2u_{i,j}^{k+1} + u_{i-1,j}^k}{h^2} + \frac{u_{i,j+1}^k - 2u_{i,j}^{k+1} + u_{i,j-1}^k}{h^2} = f_{i,j}^k. \quad (1.5)$$

с граничными условиями

$$u_{0,j}^k = 1, u_{N,j}^k = 1, u_{i,0}^k = 0, u_{i,N}^k = 0, \quad (1.6)$$

для $(i, j) \in \overline{0, N} \times \overline{0, N}$.

2. Модель параллельных вычислений

Сегодня невозможно представить высокопроизводительные вычисления без параллелизации, так как самые мощные вычислительные системы имеют сотни и тысячи процессоров, работающих одновременно в тесном взаимодействии, то есть параллельно. При параллельном вычислении программа делится на множество подпрограмм, поэтому все они выполняются параллельно для вычисления требуемых значений.

Реализация GPU-CUDA

Подход CUDA предоставляет небольшой набор расширений для стандартных языков программирования, таких как C, которые обеспечивают прямую реализацию параллельных алгоритмов. Когда приложения используют CPU и GPU, CUDA также поддерживает гетерогенные вычисления. Программа CUDA вызывает параллельные функции. Параллельные функции также называются ядрами, которые выполняются почти во всех параллельных потоках. Разработчик либо компилятор соединяет эти потоки в блоки потоков и сетки блоков потоков. Применяемый для сброса регистров, вызовов функций и автоматических переменных массивов C в модификации параллельного программирования, CUDA имеет отдельное пространство памяти. В данной работе разработанный подход CUDA был основан на методе Якоби. В алгоритме 1 показан алгоритм решения задачи (1.1)-(1.3).

Алгоритм 1: Реализация двумерного уравнения с использованием CPU

```
compute initial function matrix  $u_{prev}$ 
from initial condition (2.2) we get  $u \leftarrow u_{prev}$ 
do
call function P2D( $u_{prev}$ ,  $u$ ,  $f$ ,  $N$ ,  $h$ )
calculate matrix  $u$ 
swap ( $u_{prev}$ ,  $u$ )
while ( $k < nIterations$ )
```

Для начала необходимо выполнение расчетов размера блока в строгом соответствии с размером матрицы и номерами шагов прямого и обратного решения. В алгоритме 2 показан алгоритм реализации двумерного уравнения с использованием GPU.

Алгоритм 2: Реализация двумерного уравнения с использованием GPU

```
dim3 dimBlock(BLOCK_SIZE_X, BLOCK_SIZE_Y);
dim3 dimGrid(N / dimBlock.x + ((N % dimBlock.x) ? 1 : 0), N / dimBlock.y + ((N % dimBlock.y) ? 1 : 0));
do {
P2D << <dimGrid, dimBlock >> >(<math>d_{u_{prev}}</math>, <math>d_u</math>, <math>dev_f</math>,  $N$ ,  $h$ );
float* pingPong  $\leftarrow d_{t_{prev}}$ ;
<math>d_{t_{prev}} \leftarrow d_t</math>;
<math>d_t \leftarrow pingPong</math>;
k++;
} while ( $k < nIterations$ );
```

Таким образом, рассчитываем массив d_u и расчетные данные d_u с устройства на хост копируем с помощью `cudaMemcpy(d_u, u, sizeof(float) * N * N, cudaMemcpyHostToDevice);`

3. Численные результаты

В данном разделе продемонстрированы результаты, полученные на настольном компьютере с конфигурацией 640 ядра GeForce GTX 1050, NVIDIA GPU и с CPU Intel(R) Core(TM) i5-7500, 3.40GHz, RAM 16Gb. Значения параметров моделирования даны в виде: $\Delta x = \Delta y = 1/N$, а относительная погрешность 10^{-6} . В результате использования явного метода (1.5) была получена сеточная функция $u_{i,j}^k$. Для получения более реалистичных данных были протестированы семь случаев с разной площадью рассматриваемой области: 32×32 , 64×64 , 128×128 , 256×256 , 512×512 , 1024×1024 , 2048×2048 . В таблице 1 указывается время выполнения в секундах для последовательного подхода (в ЦП) и параллельного подхода CUDA (в графическом процессоре) для задач (1.5) и (1.6).

На рисунке 1 показан графический результат, график построен с помощью программы Tescplot. Результаты программ приведены в таблице 1 и при увеличении размера сетки вычисление на графическом процессоре производится быстрее чем на центральном процессоре. Это видно на рисунке 2 и 3.

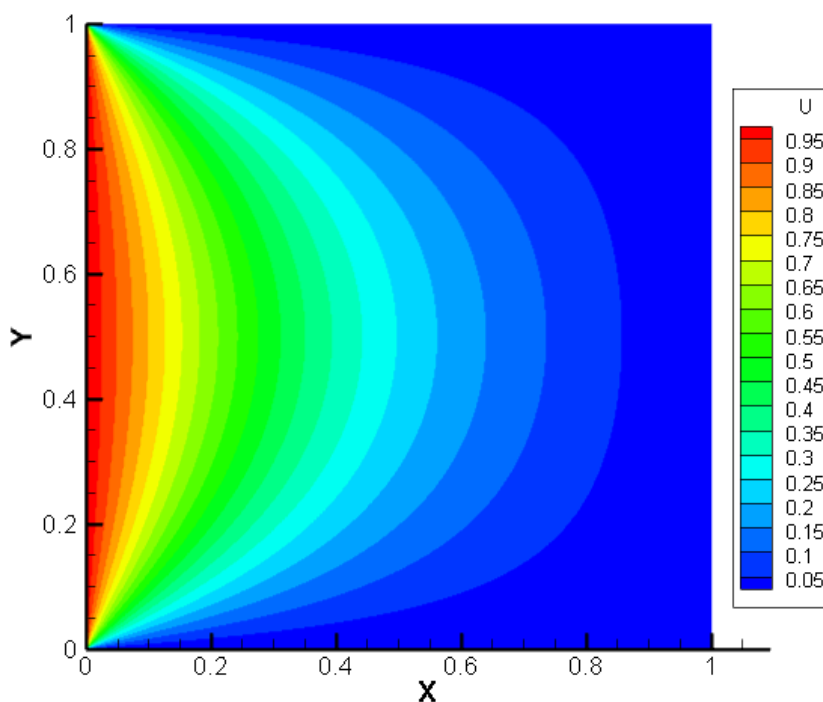


Рисунок 1. График результата с помощью программы Tescplot

Таблица 1. Execution time (seconds)

Mesh size	CPU	GPU	Speed-up
32x32	0.035	0.2160385	0,162008
64x64	0.497	1.0914834	0,455344
128x128	6.871	7.5760875	0,906933
256x256	91.917	72.6604385	1,265021
512x512	1292.31	842.4293213	1,534028
1024x1024	16771.3	10528.823242	1,592894
2048x2048	202957	125857.4296875	1,612595

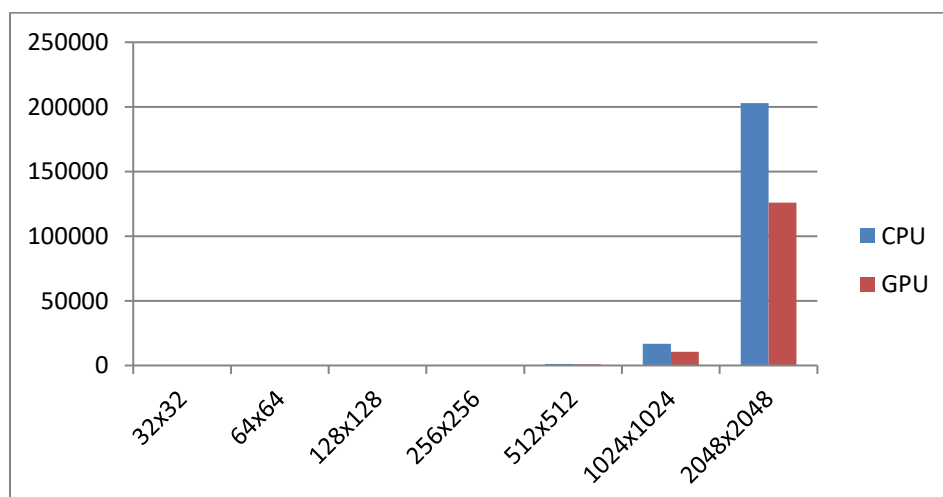


Рисунок 2. Время выполнения программ

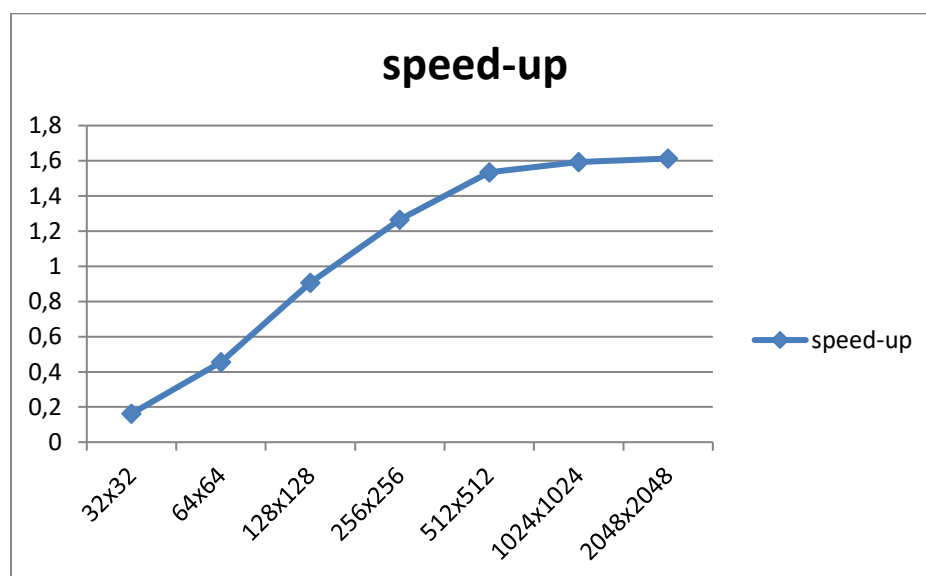


Рисунок 3. Ускорение программ

Замечено, что для большего количества данных и количества пространственных узлов в пространстве решений достигаются более высокие значения ускорения. Кроме того, следует отметить, что из-за процесса распараллеливания как на CPU, так и на GPU потери точности не произошло.

Заключение и будущая работа

Таким образом, в настоящем исследовании было продемонстрировано численное решение двумерного уравнения Пуассона эллиптического типа в прямоугольной области на основе явной конечно-разностной схемы. Было выполнено распараллеливание краевой задачи Дирихле для уравнения эллиптического типа. Все численные расчеты показали высокую производительность в сравнении с экспериментальными данными. В будущем планируется усовершенствовать данную работу и применить реализованный подход для GPU.

Список литературы

1. [Russkov, A.](#), [Chulkevich, R.](#), [Shchur, LN.](#) Algorithm for replica redistribution in an implementation of the population annealing method on a hybrid supercomputer architecture. COMPUTER PHYSICS COMMUNICATIONS, vol.261, APR 2021.
2. Jodra, J. L., Gurrutxaga, I., Muguerza, J., & Yera, A. (2017). Solving Poisson's equation using FFT in a GPU cluster. Journal of Parallel and Distributed Computing, 102, 28–36.
3. [Jiaquan Gao](#), [Qi Chen](#), [Guixia He](#). A thread-adaptive sparse approximate inverse preconditioning algorithm on multi-GPUs. PARALLEL COMPUTING. [Volume 101](#), April 2021, 102724.
4. Li, K., Yang, W., & Li, K. (2016). A Hybrid Parallel Solving Algorithm on GPU for Quasi-Tridiagonal System of Linear Equations. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 27(10), p. 2795–2808.
5. [Dominguez, D.S.](#), [Orellana, E.V.](#), [Santos, B.P.](#), [Iglesias, S.M.](#), [Comparing parallel technologies based on GPU and CPU in numerically solving single phase flow problems](#). 11th World Congress on Computational Mechanics, WCCM 2014, 5th European Conference on Computational Mechanics, ECCM 2014 and 6th European Conference on Computational Fluid Dynamics, ECFD 2014, c. 5122-5128
6. NVIDIA E. CUDA C Programming Guide, v1.0 (2007). URL <https://developer.nvidia.com/content/cuda-10>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167819120301083?via%3Dihub#b17>
6. NVIDIA E. CUDA C Programming Guide, v1.0 (2007). URL <https://developer.nvidia.com/content/cuda-10>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167819120301083?via%3Dihub#b17>
7. T.S. Imankulov, D.Zh. Akhmed-Zaki, B.S. Daribayev, D.V. Lebedev, K.A. Aidarov, Y.S. Nurakhov, O.N. Turar. Intellectual System for Analyzing Thermal Compositional Modeling with Chemical Reactions. ECMOR 2018 - 16th European Conference on the Mathematics of Oil Recovery, Barcelona, Spain. 3-6 September, – 2018.
8. T. Imankulov, B. Daribayev, S. Mukhambetzhannov. Comparative analysis of parallel algorithms for solving oil recovery problem using CUDA and OpenCL. International Journal of Nonlinear Analysis and Applications. - 2021. - 12(1). - p 351–364
9. [Altybay, A.](#), [Ruzhansky, M.](#), [Tokmagambetov, N.](#) A parallel hybrid implementation of the 2d acoustic wave equation. [International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation](#), 2020, 21(7-8), p. 821–827.
10. Tapia, J. J., & D'Souza, R. (2009). Data-parallel algorithms for large-scale real-time simulation of the cellular potts model on graphics processing units. 2009 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics.
11. [Schultz, Daniel W.](#), [Xu, Bojian](#). [Parallel Methods for Finding k-Mismatch Shortest Unique Substrings Using GPU](#). [IEEE-ACM TRANSACTIONS ON COMPUTATIONAL BIOLOGY AND BIOINFORMATICS](#) Volume: 8 Issue: 1 Pages: 386-395 Published: JAN 1 2021.
12. D F N [Santos](#), M [Lisnyak](#), NA [Almeida](#), L G [Benilova](#), M S [Benilov](#), [Numerical investigation of AC arc ignition on cold electrodes in atmospheric-pressure argon](#), [Journal of Physics D: Applied](#)

[Physics, Volume 54, Number 19, Published 25 February 2021.](#)

12. D F N [Santos](#), M [Lisnyak](#), NA [Almeida](#), L G [Benilova](#), M S [Benilov](#), [Numerical investigation of AC arc ignition on cold electrodes in atmospheric-pressure argon](#), [Journal of Physics D: Applied Physics, Volume 54, Number 19, Published 25 February 2021.](#)

13. [Shu Wang](#), [Limin Jiang](#) Quasi-neutral limit and the initial layer problem of the electro-diffusion model arising in electro-hydrodynamics. [Nonlinear Analysis: Real World Applications vol. 59](#), June 2021, 103266

14. Leblond, J., [Pozzi](#), E., Solutions to inverse moment estimation problems in dimension 2, using best constrained approximation. [Journal Of Approximation Theory, Volume 264](#), April 2021, 105520105520

15. Palha, A., Rebelo, P. P., Hiemstra, R., Kreeft, J., & Gerritsma, M. (2014). Physics-compatible discretization techniques on single and dual grids, with application to the Poisson equation of volume forms. [Journal of Computational Physics](#), 257, 1394–1422.

М.Ж. Сақыпбекова

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

Пуассон теңдеуін шешу үшін тиімді жоғары өнімді есептеулерді жасау

Аңдатпа. Мақалада Пуассон теңдеуін шешу үшін тиімді жоғары өнімді есептеулерді әзірлеу қарастырылады. Екі өлшемді Пуассон теңдеуінің сандық шешімін бір компьютер үшін айқын айырмашылық сұлбасын қолдану арқылы параллельді бағдарламалау тәсілі ұсынылды. Дербес дифференциалдық теңдеу өзінің соңғы айырмашылығымен ауыстырылды. Параллельдеу технологиясы ретінде бағдарламалық-аппараттық архитектура (CUDA) таңдалды. Ұсынылған параллелизация тәсілінің тиімділігін тексеру және салыстыру үшін сандық эксперименттер жүргізіледі. Нәтижелер орталық процессорлар (CPU) және графикалық өңдеу блогы (GPU) арқылы модельдеу негізінде алынған нәтижелермен салыстырылады, олар салыстырмалы талдау негізінде параллельді сандық алгоритмнің тиімділігін көрсетті. Алгоритмдердің өнімділігі NVIDIA GTX 1050 архитектураларында және Core(TM) i5-7500H дәйекті орындалуымен суреттелген.

Кілт сөздер: CPU, GPU, Пуассон теңдеуі, CUDA, параллельді есептеу.

M. Zh. Sakypbekova

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

Development of an effective high-performance computation for solving the Poisson equation

Abstract. The article discusses the development of efficient high-performance computing for solving the Poisson equation. The article proposes a parallel programming approach for the numerical solution of the two-dimensional Poisson equation using an explicit difference scheme for one computer. The partial differential equation has been replaced by its finite difference counterpart. As technology for parallelization was chosen from the software-hardware architecture (CUDA). Numerical experiments were carried out to test and compare the effectiveness of the proposed parallelization approach. The results compared with the results obtained based on simulations using central processing units (CPU) and on a graphical processing unit (GPU), which, based on a comparative analysis, showed the effectiveness of a parallel numerical algorithm. The performance of the algorithms was illustrated on the NVIDIA GTX 1050 architectures and with the sequential implementation of the Core (TM) i5-7500H.

Keywords: CPU, GPU, Poisson equation, CUDA, parallel computing.

References

1. [Russkov, A.](#), [Chulkevich, R.](#), [Shchur, LN.](#) Algorithm for replica redistribution in an implementation of the population annealing method on a hybrid supercomputer architecture. *COMPUTER PHYSICS COMMUNICATIONS*, vol.261, APR 2021.
2. Jodra, J. L., Gurrutxaga, I., Muguerza, J., & Yera, A. (2017). Solving Poisson's equation using FFT in a GPU cluster. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 102, 28–36.
3. [Jiaquan Gao](#), [Qi Chen](#), [Guixia He](#). A thread-adaptive sparse approximate inverse preconditioning algorithm on multi-GPUs. *PARALLEL COMPUTING*. [Volume 101](#), April 2021, 102724
4. Li, K., Yang, W., & Li, K. (2016). A Hybrid Parallel Solving Algorithm on GPU for Quasi-Tridiagonal System of Linear Equations. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 27(10), p. 2795–2808.
5. [Dominguez, D.S.](#), [Orellana, E.V.](#), [Santos, B.P.](#), [Iglesias, S.M.](#), [Comparing parallel technologies based on GPU and CPU in numerically solving single phase flow problems](#). 11th World Congress on Computational Mechanics, WCCM 2014, 5th European Conference on Computational Mechanics, ECCM 2014 and 6th European Conference on Computational Fluid Dynamics, ECFD 2014, c. 5122-5128
6. NVIDIA E. CUDA C Programming Guide, v1.0 (2007). URL <https://developer.nvidia.com/content/cuda-10>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167819120301083?via%3Dihub#b17>
7. T.S. Imankulov, D.Zh. Akhmed-Zaki, B.S. Daribayev, D.V. Lebedev, K.A. Aidarov, Y.S. Nurakhov, O.N. Turar. Intellectual System for Analyzing Thermal Compositional Modeling with Chemical Reactions. ECMOR 2018 - 16th European Conference on the Mathematics of Oil Recovery, Barcelona, Spain. 3-6 September, – 2018.
8. T. Imankulov, B. Daribayev, S. Mukhambetzhannov. Comparative analysis of parallel algorithms for solving oil recovery problem using CUDA and OpenCL. *International Journal of Nonlinear Analysis and Applications*. - 2021. - 12(1). - p 351–364
9. [Altybay, A.](#), [Ruzhansky, M.](#), [Tokmagambetov, N.](#) A parallel hybrid implementation of the 2d acoustic wave equation. [International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation](#), 2020, 21(7-8), p. 821–827.
10. Tapia, J. J., & D'Souza, R. (2009). Data-parallel algorithms for large-scale real-time simulation of the cellular potts model on graphics processing units. 2009 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics.
11. [Schultz, Daniel W.](#), [Xu, Bojian](#). [Parallel Methods for Finding k-Mismatch Shortest Unique Substrings Using GPU](#). [IEEE-ACM TRANSACTIONS ON COMPUTATIONAL BIOLOGY AND BIOINFORMATICS](#) Volume: 8 Issue: 1 Pages: 386-395 Published: JAN 1 2021.
12. D F N [Santos](#), M [Lisnyak](#), NA [Almeida](#), L G [Benilova](#), M S [Benilov](#), [Numerical investigation of AC arc ignition on cold electrodes in atmospheric-pressure argon](#), [Journal of Physics D: Applied Physics](#), [Volume 54](#), [Number 19](#), [Published 25 February 2021](#).
13. [Shu Wang](#), [Limin Jiang](#) Quasi-neutral limit and the initial layer problem of the electro-diffusion model arising in electro-hydrodynamics. [Nonlinear Analysis: Real World Applications](#) vol. 59, June 2021, 103266
14. Leblond, J., [Pozzi, E.](#), Solutions to inverse moment estimation problems in dimension 2, using best constrained approximation. *Journal Of Approximation Theory*, [Volume 264](#), April 2021, 105520105520
15. Palha, A., Rebelo, P. P., Hiemstra, R., Kreeft, J., & Gerritsma, M. (2014). Physics-compatible discretization techniques on single and dual grids, with application to the Poisson equation of volume forms. *Journal of Computational Physics*, 257, 1394–1422.

Сведения об авторе:

Сакыпбекова М.Ж. – старший преподаватель кафедры искусственного интеллекта и Big Data Казахского национального университета им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан.

Sakypbekova M.Zh. - Senior Lecturer of the Department of Artificial Intelligence and Big Data of the Kazakh National University. al-Farabi, al-Farabi avenue 71, Almaty, Kazakhstan.

Влияние исламской философии в формировании традиционного жилья Бухары

Аннотация. Данная работа основана на выводах научной работы, посвященной методам регенерации традиционного жилья (конец XIX и начало XX в.) исторической части города Бухара. Автор цитирует фрагменты из Корана и хадисы (истории из жизни пророка Мухаммеда с.а.с.), что является канонами для исламского мира, повлиявшими на формирование планировки, объёмно-пространственной композиции, декор и даже детали конструкции жилого дома в старгородской части города Бухара. Результаты данной работы демонстрируют методы восстановления и регенерации исторических домов в городе Бухара, разработанные автором. Также в статье рассматриваются принципы сохранения и восстановления исторических городов. Новизна данной работы заключается в том, что автор даёт свой принцип восстановления – основываться на каноны мусульманской культуры.

Ключевые слова: регенерация, исторические дома, Бухара, айван, гостиная комната, кыбла, мадон (кладовая).

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-139-2-152-160

Введение

При осуществлении охраны исторических памятников особые меры принимаются относительно сохранения и восстановления исторических жилых застроек, составляющих основную часть исторической среды. Но какой бы исторической не была застройка древних городов, нельзя забывать, что эти территории являются местом обитания для местных жителей. Создание для них благоприятных условий с учетом современных требований – одна из основных задач специалистов в данной области. Сегодня под эгидой МИИЦАИ (Международного института исследований Центральной Азии) проводятся исследования по разработке стратегии изучения, документирования и развития еврейских исторических застроек.

С первых лет независимости нашей республики большое внимание уделялось строительной отрасли, в частности охране и восстановлению объектов культурного наследия. В настоящее время Стратегия действий, направленная на ускоренное развитие всех секторов, определяет конкретные направления дальнейшего совершенствования строительства и архитектуры, сохранения исторических городов и их использования как ключевого фактора в развитии туристической системы в нашей стране.

Цель данного исследования - усовершенствовать методы сохранения и восстановления исторической застройки и на этой основе разработать научно-теоретические и практические рекомендации по модернизации жилой застройки в исторических городах Узбекистана (на примере города Бухара).

Тип жилья, в отличие от других типов зданий и сооружений, меняется в зависимости от природно-климатических условий местности. Жилые дома в архитектуре Узбекистана выделяются сложностью и многогранностью. Как правило, жилые здания по форме и структуре разнообразнее и сложнее, чем архитектурные объекты другого назначения. Форма и структура жилья предопределяются историческими, социальными, этническими и природными условиями.

В настоящее время территория Узбекистана разделена на следующие климатические зоны I (Ia, Ib, Iv, Ir), II, III. В первую зону входят Республика Каракалпакстан, Хорезмская, Бухарская,

Кашкадарьинская, Сырдарьинская, Джизакская области, а также Шерабадский и Термезский районы Сурхандарьинской области. Во вторую зону входят Самаркандская, Навоинская область, Деновский район Сурхандарьинской области и Ташкентская область. К третьей зоне отнесены горные районы [1]. При разделении территории страны на климатические зоны основным фактором являются температурные показатели.

Исторические условия также сыграли важную роль в формировании типов жилья в исторических центрах Узбекистана. Разделение города на провинции породило различные культурные центры и разные архитектурные школы.

Например, в Бухаре – в одном из древнейших городов мира, где пересекаются сотни караванных маршрутов, политическом центре Мавераннахра, столице государства Шайбанидов с XVI века, а позже, в столице Бухарского эмирата, был разработан уникальный тип жилья. Этот тип жилья повлиял на жилищные строительства таких городов, как Самарканд, Ташкент и Шахрисабз.

С древних времен и до конца позапрошлого века Хорезм считался самостоятельным политическим узлом (за исключением XIII-XIV и частично XVI веков). Его удаленность от других политических центров привела к формированию независимой и разнообразной архитектурной школы, а наличие обширной пустыни между регионами и отдаленность Хорезмского государства от других культур привели к укреплению ценностей хорезмской архитектурной школы.

Точно так же географическое положение Ферганской долины привело к сохранению ее политической автономии. Торговые отношения с Кашгаром наложили отпечаток на Ферганскую архитектурную школу. Например, внутренние дворы, освещаемые сверху, своеобразные каминные (известные как «кашгарча»), планировочная структура жилого дома в форме галереи, расположенной вдоль фасада, симметричное расположение жилых комнат по обе стороны полуоткрытой общей комнаты, легкие подвижные перегородки – повторяют аспекты, характерные для китайской архитектурной школы [2].

Таким образом, политическая агрегация Хорезма, Бухары и Ферганской долины породила три независимых типа жилья (хивинский, бухарский, кокандский). Кроме того, есть еще Самаркандский, Шахрисабзский и Ташкентский типы жилья, которые сформированы на базе бухарской и ферганской архитектурных школ, но каждый имеет свой декор и особенности, обусловленные климатическими факторами.

Климатические условия обусловили все типы жилья, конструктивно отличающиеся друг от друга.

1) в городах, где много дождя, крыша толще, и для поддержки этой крыши возводят стены большей толщины.

2) толщина стен жилых домов в центрах исторических городов Узбекистана обоснована в большей степени сейсмостойкостью, нежели теплоизоляцией [2].

Каждый из жилых домов, сформированных в центрах исторических городов Узбекистана, – это индивидуальный объект со своей спецификой и неповторимым характером. Но, несмотря на индивидуальность каждого строения, есть общие для всех типов жилых домов особенности, обусловленные менталитетом и природно-климатическими условиями местности. Одна из таких особенностей – закрытость от взоров посторонних.

Еще одна общая характерная особенность застроек, сформировавшихся в исторических центрах городов Узбекистана – разделение жилья на открытые и закрытые дворы. Исследования показали, что объем жилого дома зависит от социального уровня владельца, и чем выше положение домовладельца, тем больше внимания уделяется изоляции женщин в его доме от глаз посторонних мужчин.

Жилые дома, расположенные в историческом центре Бухары, были преимущественно одно-, двух- и трех-дворовые. Количество дворов определялось социальным положением домовладельца, экономическими возможностями и родом занятий.

Помещения располагались в основном по периметру двора. Такую планировку двора, т.е. периметральное расположение комнат можно наблюдать и в жилых застройках города Хивы. В

традиционных жилых застройках Ташкента, Коканда и Самарканда помещения располагались во дворе в форме буквы «Г». Независимо от этажности жилья все комнаты выходили во двор. Стены жилища, выходящие на улицу, были закрытыми. При этом главный фасад многоквартирных домов практически отсутствовал, так как примыкающие стены также были закрытыми. Внешний фасад имелся только у дома, выходящего на улицу, а у домов, к которым доступ был устроен через коридор (тагхона, долон), фасад обращенный на улицу, едва просматривался. Таким образом, жилые помещения располагались вокруг двора и выходили во двор. Закрытость фасада традиционного бухарского жилья – их отличительная черта по сравнению с жилыми домами других регионов, такими как Хива или Коканд. Элементы фасада можно наблюдать на втором этаже жилых домов Хивы и первых этажах жилых построек в г. Коканде.

Кроме того, в жилищах предусматривалось использование кровли. В состав полезной площади входила не только нижняя сторона крыльца, но и открытые участки кровли. В Бухаре такие места называют «рои-шабга».

Традиционный жилой дом состоит в основном из 2-х этажной каркасной коробки (существовали даже трехэтажные строения), внешние стены которого оштукатурены соломенной глиной. Поверхность стен в основном ровная. Из-за того, что жилище было переполнено окружающими постройками, создавая объем с замкнутой формой жилища, практически невозможно было четко определить его наружный контур. Вход выложен козорогами, иногда резными деревянными столбами, между которыми располагались резные двери. На ровном фасаде были видны балки перекрытия первого и второго этажей. Такое конструктивное решение придавало единый ритм для ровного и простого фасада. В жилых домах хивинской и кокандской постройки, в отличие от бухарского жилого дома, на внешнем фасаде можно было встретить открытые веранды и лоджии.

Резко-континентальный климат Бухары, малое количество осадков, а также дефицит древесного сырья привели к развитию плоских кровель на балках. В объемно-пространственной композиции дома эти показатели являются важным условием, которое в определенной степени предопределило форму здания.

Еще одним фактором природной среды в объемно-пространственной композиции жилища было направление солнца. Местные мастера эффективно использовали солнечную энергию для обогрева и охлаждения комнат. Какая сторона комнаты была обращена к солнцу, решало пространственно-пространственное решение жилища (рис.1).

Строительные методы местных мастеров не ограничивались конструктивными решениями, возведением стен и кровли. Конструктивные решения выполняли техническую функцию по реализации художественных замыслов архитекторов. Художественную идею сложно представить без объемно-пространственных размеров, габаритов комнат и их пропорций, отвечающих требованиям красоты. Математические пропорции сами по себе не смогут определить объемно-пространственное художественное решение (например, конкретного помещения), но эти пропорции являются определяющими закономерностями архитектурного решения жилого дома.

Народные мастера Бухары не всегда соблюдали принятые в строительстве идеальные пропорции при выборе объемно-пространственного решения жилья. Плотное расположение построек на небольшой территории, а иногда недоступность необходимого сырья заставляли мастеров отступить от принятых пропорций.

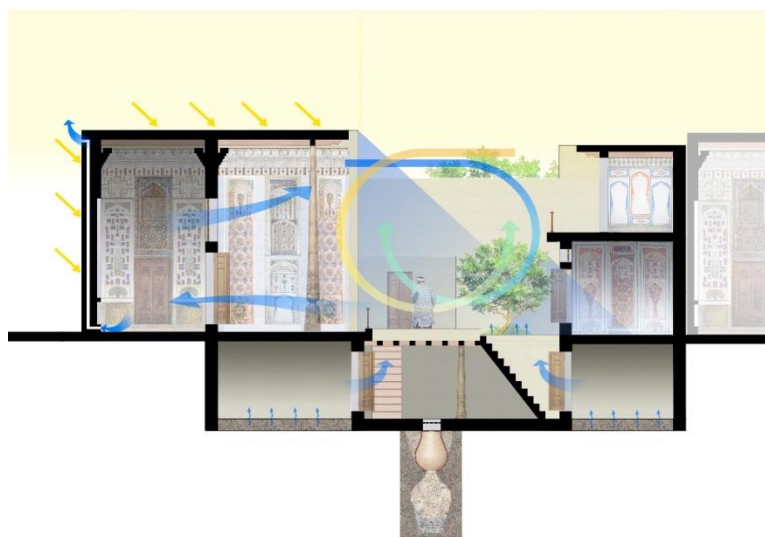


Рисунок 1. Разрез традиционного жилого жома Бухары.
Автор Файзуллаева Н.Н. 2020 г.

Если высота помещения 4,5 газа (примерно 83 см [3]), а ширина 4 газа, по расчетам этого мастера, в зависимости от высоты стены, ширина панели должна составлять 1 газа, ниши (арка) – 2,5 газа, надписи – 0,5 газа и фриза (шарафа) – 0,5 газа.

Конструкция жилого дома в основном выполнялась из каркаса.

Фасады обычных жилых дворов покрывались штукатуркой, а богатые домовладельцы могли украсить однотонной цветной штукатуркой. Резьба из гипса и отделка цветной штукатуркой использовались только во внутренних помещениях и айванах. Были несколько видов отделки стен цветной штукатуркой, характерной для Бухары.

Способов украшения комнат множество, ведь от качества их отделки зависит уникальность работы каждого мастера. Кроме того, методы отделки также различаются по стилю и выполнению.

Ниже мы перечислим особенности жилья, сформировавшегося под влиянием исламской философии.

Так, в Коране (Суре ан-Нур) сказано: «... Скажите верующим, чтобы они не смотрели на женщин, которые не являются их махрамами». «Знает Он измену, которую совершают глаза, и знает то, что сокрыто в сердцах» (Сура Гафир (Прощающий), аят 19) [4].

Согласно вышеприведенным хадису и аяту укажем на две особенности, которые присущи жилым постройкам в историческом центре Бухары:

1. Разделение жилого двора на мужскую и женскую половины.

На основании вышеуказанных аятов в жилых постройках Бухары сформировались мужская и женская половины. Дворы делятся на мужские (бирун), женские (дарун) и производственные части в зависимости от материального состояния домовладельца. Во дворах даруна и бируна могли иметь место другие планировочные решения в зависимости от возможностей домовладельца и его социального происхождения: А) Отдельные, примыкающие друг к другу дворы, каждый из которых используется как самостоятельный двор (Рис. 2); Б) Отдельный, совмещенный один двор, разделенный согласно планировочному решению на две зоны (Рис. 3).

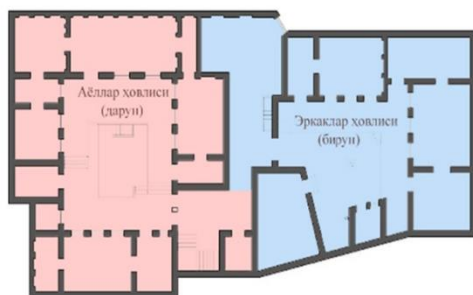


Рисунок 2. План традиционного жилого жомы Бухары. Автор Файзуллаева Н.Н. 2020 г.

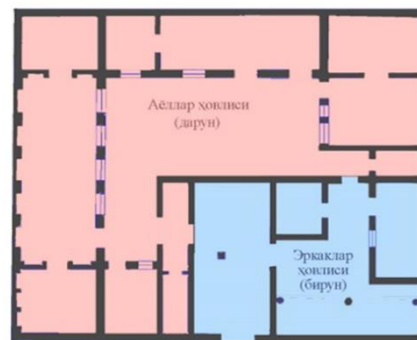


Рисунок 3. План традиционного жилого жомы Бухары. Автор Файзуллаева Н.Н. 2020 г.

2. Вход в жилой двор через коридор, долон или тагхона (подвал).

Если проанализировать планировку жилых домов Бухары, то при входе во двор с улицы человек сталкивается с условной преградой. Данная преграда служила для того, чтобы прохожий не видел идущую по двору женщину, если взглянет на открытую дверь. Выявлены разные виды этого решения:

- а) преграда выполнялась в виде небольшого холла;
- б) преграда в виде коридора (рис.4);
- в) преграда в виде конюшни, где содержатся лошади (рис.5);
- г) в жилой двор проходили через цокольный этаж (тагхона);
- д) доступ в женскую половину через мужскую половину также был препятствием для входа в женскую часть двора.



Рисунок 4. План традиционного жилого жомы Бухары. Автор Файзуллаева Н.Н. 2020 г.

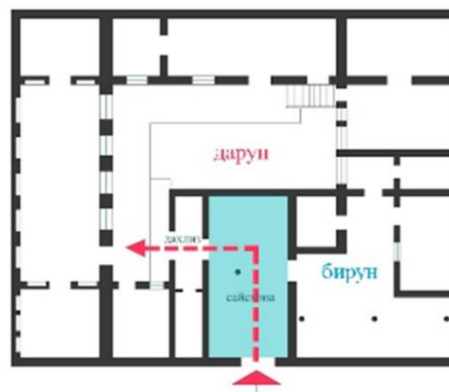


Рисунок 5. План традиционного жилого жомы Бухары. Автор Файзуллаева Н.Н. 2020 г.

3. Расположение внутри жилых помещений вспомогательных комнат – мадонов.

Хадис от Абу Хурайра: Пророк (мир ему и благословение Аллаха) сказал: «Если один из вас не совершит омовение, Аллах не примет его молитву, пока он не совершит омовение». Рассказано Бухари и Муслимом. Также, «Ученик (мюрид) перед сном должен совершить омовение. При этом его душа станет легка как птица, она летает и помнит Аллаха как физически, так и духовно» [4].

Согласно вышеприведенным хадисам, каждый мусульманин должен пятью ежедневными молитвами очищать душу, и молитвы отправлять только после омовения, а также совершать омовение перед сном. Омовение по арабский называется «вузу», что переводится на узбекский язык как

«очищение, опрятность. Данный обряд был учтен мастерами-зодчими, и в жилых помещениях домов Бухары устраивались подсобные помещения – мадоны.

Мадон – небольшая комната, ширина которой равна ширине помещения, к которому она пристроена, длина составляет от 1,0 м до 3,0 м, и, как правило, выполняется двухуровневым. В одном углу мадона располагался ташнау (выгребная яма), обложенный мусульманским кирпичом. Ташнау находился на 20-25 см ниже пола мадона. Одна часть мадона была сухой, а другая – влажной. Таким образом, в жилых комнатах были все удобства для омовения перед намазом.

4. Самая большая комната в жилом доме предназначалась гостям. Так, в хадисе от Абу Шурайх аль-Хузи говорит: Я слышал, как Посланник Аллаха (мир ему и благословение Аллаха) сказал: «Тот, кто верит в Аллаха и в Последний день, пусть почит своего гостя и наградит его». Тогда у него спросили: «Какая награда, о Посланник Аллаха?» Посланник Аллаха (мир ему и благословение Аллаха) ответил: «Одна ночь и один день. Прием трехдневный. Еще есть благотворительность. Кто верует в Аллаха и в Последний день, пусть говорит ласково или хранит молчание. Рассказано Бухари и Муслимом [4]. То есть лучшая комната в мусульманском доме была отведена для гостя [5]. По возможности во дворе строили отдельную гостевую, которая была светлой, просторной по сравнению с другими помещениями. В домах, которые были разделены на открытый и закрытый дворы, строили и оснащали отдельную гостевую зону для каждого двора.

5. Размещение двери или окна на противоположной стороне кыблы

В исторических жилых домах Бухары до сих пор придерживаются правила, оставшегося с незапамятных времен: человек укладывается спать, вытянув ноги в сторону двери или окна. Таким образом, голова спящего всегда обращена к кыбле.

Кыбла (кыбла арабское слово – направление; то, что находится напротив) – в исламе – точно установленное из любой точки земного шара направление в сторону священной Каабы в г. Мекке в Аравии. Именно поэтому при планировке окон и дверей помещения устанавливали на противоположной стороне кыблы.

В Коране есть аят: не будь высокомерным на земле. Ибо ты не можешь ногами пронзить землю и своим ростом никогда не достигнешь гор «(Исра, 37) [4]. В связи с этим дверь в комнаты была ниже человеческого роста. В основе этого лежит исламская этика и мораль. Человек, вошедший в комнату через дверь, склонял голову и почтительно приветствовал присутствующих. Учитывая, что дверь была напротив кыблы, вошедший человек всегда приветствовал кыблу.

6. Использование нечетных чисел в таких элементах, как балки, окна, количество ниш в жилых комнатах и т.д.

Хадис от Убайды ибн Самита: Пророк (мир ему и благословение Аллаха) сказал: «Нет бога, кроме Аллаха, Он Единственный, нет равных Ему ...» [4]

Признавая единство Аллаха, архитекторы обращали внимание на нечетное число при проектировании жилищ и учитывали это во всем: от строительства до декора комнат. Например:

- а) длина жилых помещений равнялась 7, 9, 11, 13, 15 болорам, коридоров – 5 болорам, а мадонов – 3 болорам;
- б) в гостиной было три окна, независимо от размера помещения;
- в) поперечная стена гостиной разделена на 3 ниши, а продольная стена разделена на 5 или 7 ниш;
- г) количество полок в стеллаже было нечетным.

7. Фасад жилого дома делался простым, незамысловатым, а фасады внутреннего двора и внутренний декор отличались богатыми украшениями.

Аллах говорит: «О человечество! Мы создали вас из мужчины и женщины, чтобы вы знали друг друга, разделили вас на разные народы и племена. Воистину, самый почитаемый перед Аллахом – тот, который самый благочестивый из вас...» (Худжурат, 13). Учения ислама направлены не на тело и изображения человека, а на его сердце, душу и поступки. Имам муслим в своей книге «Сахих» приводит слова Абу Хурайры: «... Аллах не смотрит на ваши изображения и тела, но Он смотрит на ваши сердца и дела» [4].

Если продолжить утверждения упомянутые выше, то человеку необходимо очистить свою душу,

обогащать свой внутренний мир и повысить свою духовность на пути к совершенству. И для достижения этого он должен придерживаться скромности, не завидовать богатству.

Али (розиаллоху анху) сказал Умару: «Если хочешь присоединиться к двум своим друзьям (Пророку и Абу Бакру), надень заплатанную рубашку и заплатанную обувь. Не поддавайся жадности и богатству» [4].

Скромно одеваться и жить скромно - это сунна для всей мусульманской общины (уммы). Образцовый мусульманин воплощается в образе верующего, который прост на вид и скромен, чей внутренний мир преисполнен любовью к Аллаху и жаждой знаний. Когда мы смотрим на жилища Бухары, мы видим, что внешний вид жилищ очень простой и даже примитивный, вне зависимости от социального происхождения и финансовых возможностей домовладельца. Но когда вы входите во двор жилого дома, перед вашими глазами раскрывается совершенно другая картина: уникальный эстетический вид внутреннего двора, изысканность гостиных комнат, спроектированных так, чтобы произвести впечатление. Каждая деталь в интерьере безупречна и тщательно проработана.

Результаты

В результате исследования были определены характеристики жилья в историческом центре города Бухары и разработаны методы их применения при разработке проектов восстановления и реконструкции жилых домов в историческом центре города Бухары.

1. **Метод регенерации:** сохранение ценной, исторической части жилища, строительство новых помещений вокруг сохранившихся комнат.

2. **Метод реставрации:** строительство нового жилья на фундаменте исторических жилых домов, не пригодных для эксплуатации, с использованием традиционных методов строительства жилья.

3. **Метод модернизации:** строительство новых жилых домов взамен жилья, не имеющего архитектурную ценность и не соответствующего исторической среде старого города.

4. **Метод музейно-консервационный:** взять под охрану государства, хорошо сохранившиеся исторические жилые дома и использовать их в качестве домов-музеев.

Выводы

1. Проектирование и строительство нового жилья в историческом центре Бухары должно основываться на следующих 5 принципах:

- сохранение социально-демографической структуры населения исторического города;
- *ориентация на исламскую философию, соблюдение исламских этических правил;*
- использование природно-климатических условий;
- применение традиционных методов строительства;
- комплексное применение традиционных и современных строительных материалов (применение современных и традиционных строительных материалов без нарушения внешнего облика традиционного жилья);

2. При разработке объемно-пространственных решений новых жилых домов в историческом центре Бухары необходимо сохранить основные структурные элементы и их специфические особенности. Основные индивидуальные структурные элементы жилых домов в историческом центре Бухары: гостиная комната, мадон, тагхона, зимняя комната, ним-айвон, двор, зеленая зона.

Список литературы

1. ҚМҚ 2.01.01-94 Климатические и физико-геологические данные для проектирования.
2. Воронина В. Л. Народные традиции архитектуры Узбекистана. – Москва: Гос.Изд. литературы по строительству и архитектуре, 1951. – 166 с.
3. Писарчик А. К. Народная архитектура Самарканда. – Душанбе: «Дониш», 1975 – 141 с.

4. «РАСУЛУЛЛОҲ соллоҳу алайҳи васаллам». Таржимон: Шайх Муҳаммад Содиқ Муҳаммад Юсуф. – Тошкент: «SHARQ», 2011 – 445 с.

5. Сухарева О. А. Квартальная община позднефеодалного города Бухары. – Москва: «Наука», 1976. – 363 с.

Н.Н. Файзуллаева

Мирзо Ҳлықбек атындагы Самарқанд мемлекеттік сәулет-құрылыс институты, Самарқанд, Өзбекстан

Ислам философиясының дәстүрлі Бұхара тұрғын үйінің қалыптасуына әсері

Аңдатпа. Мақалада Бұхара қаласының тарихи бөлігінің дәстүрлі тұрғын үйді қалпына келтіру әдістеріне (XIX ғасырдың аяғы мен XX ғасырдың басы) арналған ғылыми жұмыстың қорытындыларына негізделген. Автор тұрғын үй құрылысының жоспарлануының, көлемдік құрамының, декорациясының, тіпті Бұхара қаласының ескі қала бөлігінде құрылыс бөлшектерінің қалыптасуына әсер еткен ислам әлемі үшін канондар болып табылатын Құран мен хадистерден үзінділер келтіреді (Мұхаммед пайғамбардың өмірінен хикаялар). Жұмыстың нәтижелері бойынша автор Бұхара қаласындағы тарихи үйлерді қалпына келтіру және жаңғырту үшін жасалған әдістерді тізімдейді. Сондай-ақ, мақалада тарихи қалаларды сақтау және қалпына келтіру принциптері қарастырылған. Автор өзінің қалпына келтіру принципін ұсынады—бұл жұмыс мұсылман мәдениетінің ережелеріне негізделіп, осы саладағы жұмыстың жаңалығы болып табылады.

Кілт сөздер: регенерация, тарихи үйлер, Бұхара, айван, қонақ бөлмесі, қыбла, мадон (қойма).

N.N. Fayzullaeva

Mirzo Ulugbek Samarkand State Architectural and Civil-Engineering Institute, Samarkand city, Uzbekistan

The influence of Islamic philosophy in the formation of traditional housing in Bukhara

Abstract. This work is based on the findings of a scientific work that is devoted to the methods of regeneration of traditional housing (the end of the XIX and the beginning of the XX century) of the old city part of the city of Bukhara. The author quotes fragments of Qur'an and hadis (stories from the life of the prophet Muhammad s.a.s.) which are canons for the Islamic world and that influenced the formation of planning, spatial composition, decor and even construction details of historic dwellings in Bukhara. As a result of this work, the author lists the developed methods for the restoration and regeneration of historical houses in the city of Bukhara. The article also discusses the principles of preservation and restoration of historical cities. The author gives his principle of restoration - this is to be based on the canons of Muslim culture. And this is the novelty of this work in this area.

Keywords: regeneration, historical houses, Bukhara, aivan, living room, qibla, madon (pantry).

References

1. ҚМҚ 2.01.01-94 Klimaticheskije i fiziko-geologicheskie dannye dlya proektirovaniya.
2. Voronina V. L. Narodnye tradicii arhitektury Uzbekistana. - Moskva: Gos.Izd. literatury po stroitel'stve i arhitektуре, 1951. – 166 s.
3. Pisarchik A. K. Narodnaya arhitektura Samarkanda. - Dushanbe: «Donish», 1975 - 141 s.
4. «RASULULLOH sollalohu alajhi vasallam». Tarzhimon: SHajh Muxammad Sodik Muxammad YUsof. - Toshkent: «SHARQ», 2011 - 445 s.

5. Suhareva O. A. Kvartal'naya obshchina pozdnefeodal'nogo goroda Buhary. - Moskva: «Nauka», 1976. - 363 s.

Сведения об авторе:

Файзуллаева Н.Н. - доктор философии по архитектуре (PhD), кафедра «Теория и история архитектуры», факультет «Архитектура», Самаркандский государственный архитектурно-строительный институт имени Мирзо Улутбека, ул. Лолазор, 70, Самарканд, Узбекистан.

Fayzullaeva N.N. - Ph.D. in architecture, Department of Theory and History of Architecture, Faculty of Architecture, Mirzo Ulugbek Samarkand State Architectural and Civil-Engineering Institute, 70 Lolazor str., Samarkand, Uzbekistan.

Бас редакторы: **Б.Б. Тогизбаева**

Авторларға арналған нұсқаулықтар,
жарияланым этикасы журнал сайтында берілген: <http://bultech.enu.kz>

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.
Техникалық ғылымдар және технологиялар сериясы.
- 2(139)/2022 - Нұр-Сұлтан: ЕҰУ. - 161 б.
Шартты б.т. - 10. Таралымы - 15 дана.
Басуға қол қойылды: 30.06.2022 ж.
Ашық қолданыстағы электронды нұсқа: <http://bultech.enu.kz>

Мазмұнына типография жауап бермейді

Редакция мекен-жайы: 010008, Қазақстан Республикасы Нұр-Сұлтан қ.,
Сәтбаев көшесі, 2.

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті
Тел.: +7(71-72) 70-95-00 (ішкі 31-410)

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында басылды