

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

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ
BULLETIN **ВЕСТНИК**
of L.N. Gumilyov Евразийского национального
Eurasian National University университета имени Л.Н. Гумилева

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY Series

Серия ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ

№ 4(141)/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

Астана, 2022

Astana, 2022

Астана, 2022

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

Редакция алқасы

Акира Хасегава	проф., Хачинохе технологиялық институты, Хачинохе, Жапония
Акигоши Мочизуки	проф., Токусима Университеті, Токусима, Жапония
Базарбаев Д.О.	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Дер Вэн Чанг	проф., Тамкан Университеті, Тайбэй, Тайвань
Жумагулов М.Г.	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, 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, Астана, Қазақстан
Хое Линг	проф., Колумбия Университеті, Нью-Йорк, АҚШ
Утепов Е.Б.	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Чекаева Р.У.	а.к., проф., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Шахмов Ж.А	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Юн Чул Шин	проф., Инчеон ұттық университеті, Инчеон, Оңтүстік Корея

Редакцияның мекен жайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Сәтбаев к-сі, 2,
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 402 б.
Тел: +7 (7172) 709-500 (ішкі 31-315). 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, Астана қ., Қажымұқан к-сі 13/1

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Тел: +7 (7172)709-500 (ішкі 31-315). Сайт: <http://bultech.enu.kz>

Editor-in-Chief **Baglan Togizbayeva**
Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
Deputy Editor-in-Chief **Askar Zhussupbekov**
Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
Executive editor **Alma Zakirova**
Assoc. Prof. (comp. sci.), L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 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, Astana, Kazakhstan
Der Wen Chang	Prof., Tamkang University, Taipei, Taiwan (ROC)
Mihail Zhumagulov	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Astana, 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, Astana, Kazakhstan
Hoe Ling	Prof., Columbia University, New York, USA
Yelbek Uteпов	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Rahima Chekaeva	Prof., L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Zhanbolat Shakhmov	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Eun Chul Shin	Prof., Incheon National University, Incheon, South Korea

Editorial address: 2, Satpayev str., of. 402,
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 010008
Tel.: +7 (7172) 709-500 (ext. 31-315), 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., Astana, Kazakhstan 010008

L.N. Gumilyov Eurasian National University

Tel: +7 (7172) 709-500 (ext.31-315). Website: <http://bultech.enu.kz>

Главный редактор **Тогизбаева Б.Б.**
д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Зам. главного редактора **Жусупбеков А.Ж.**
д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Ответственный редактор **Закирова А.Б.**
к.п.н. (комп. науки), доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, 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, Астана, Казахстан
Дер Вэн Чанг	проф., Тамканский Университет, Тайбэй, Тайвань
Жумагулов М.Г.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, 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, Астана, Казахстан
Хое Линг	проф., Колумбийский университет, Нью-Йорк, США
Утепов Е.Б.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Чекаева Р.У.	к.а., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Шахмов Ж.А	PhD, доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Юн Чул Шин	проф., Инчхонский национальный университет, Инчхон, Южная Корея

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2,
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, каб. 402
Тел: +7(7172) 709-500 (вн. 31-315). 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. Астана, ул. Кажымукана, 13/1,

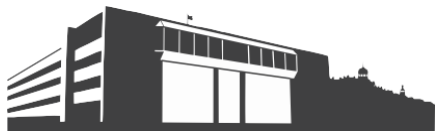
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Тел.: +7(7172)709-500 (вн.31-315). Сайт: <http://bultech.enu.kz>

МАЗМҰНЫ/ CONTENTS/ СОДЕРЖАНИЕ

- А.К. Каукаров, М.К. Куанышев.** *Ірі түйірішті топырақты өңдеуге арналған грейферлі экскаватордың жаңа жұмыс жабдығының негізгі параметрлерін негіздеу*
Kaukarov A.K., Kuanyshev M.K. *Substantiation of the main parameters of the new working equipment of the grab excavator for the development of large-block soils*
А.К. Каукаров, М.К. Куанышев. *Обоснование основных параметров нового рабочего оборудования грейферного экскаватора для разработки крупнообломочных грунтов* 7
- А.Б. Исакулов, А.Ж. Жусупбеков, Б.Р. Исакулов, С.Б. Исаков.** *Топырақ массивінің DDS технологиясы бойынша орнатылған бұрғыланып толтырылған қадаларымен өзара әрекеттесуін зерттеу*
A.B. Issakulov, A.Zh. Zhussupbekov, B.R. Issakulov, S.B. Isakov. *Investigation of the interaction of a soil massif with bored piles arranged using DDS technology*
А.Б. Исакулов, А.Ж. Жусупбеков, Б.Р. Исакулов, С.Б. Исаков. *Исследование взаимодействия грунтового массива с буронабивными сваями, устраиваемыми по технологии DDS* 19
- Г.Б. Толегенова, А.Б. Закирова, Ж.Б. Ахаева, Д.Б. Бердымуратов, А.Е. Сыздықов.** *Машиналық оқытуға негізделген интеллектуалды электр жүйелері*
G.B. Tolegenova, A.B. Zakirova, Zh.B. Akhayeva, D. Berdymuratov, A. Syzdykov. *Machine learning driven smart electric power systems*
Г.Б. Толегенова, А.Б. Закирова, Ж.Б. Ахаева, Д.Б. Бердымуратов, А.Е. Сыздықов. *Интеллектуальные электрические системы, основанные на машинном обучении* 30
- Б.Б. Тогизбаева, Д.К. Кушалиев, К.Г. Балабекова, Б. Навийхан.** *Инновациялық жөндеу жиынтығын қолдану саласына сараптама*
B.B. Togizbayeva, D.K. Kushaliev, K.G. Balabekova, B. Naviykhan. *Scope of application of the innovative repair kit*
Б.Б. Тогизбаева, Д.К. Кушалиев, К.Г. Балабекова, Б. Навийхан. *Область применения инновационного ремонтного комплекта* 38
- А. Түлебекова, Ж. Кусбергенова, А. Алдунгарова, А. Бакирбаева.** *Битумды сынаудың ерекшеліктері*
A. Tulebekova, Zh. Kusbergenova, A. Aldungarova, A. Bakirbayeva. *Peculiarities of bitumen testing methods*
А. Түлебекова, Ж. Кусбергенова, А. Алдунгарова, А. Бакирбаева. *Особенности методов испытания битума* 47
- А.А. Каражанов, Ж.Р. Алипбаев, У.Ш. Кокаев, А.Б. Забиева, С.О. Торебекова.** *Қоспалы отынның негізгі қасиеттері (дизель отыны + диметил эфири) және диметил эфири қоспасының дизельдік қозғалтқыш жұмысының көрсеткіштеріне әсерін теориялық бағалау*
A. Karazhanov, Zh. Alipbayev, U. Sh. Kokaev, A. Zabiyeva, S. Torebekova. *Basic properties of mixed fuel (diesel fuel+dimethyl ether) and a theoretical assessment of the effect of a mixture of dimethyl ether on the performance of a diesel engine*
А.А. Каражанов, Ж.Р. Алипбаев, У.Ш. Кокаев, А.Б. Забиева, С.О. Торебекова. *Основные свойства смешового топлива (дизельное топливо + диметиловый эфир) и теоретическая оценка влияния смеси диметилового эфира на показатели работы дизельного двигателя* 55

- К.Т. Шеров, Т.Г. Насад, Н.Б. Абишева, А.Б. Есиркепова, А.Б. Ержанова, К.И. Имашева.** Әр текті материалдарды үйкеліспен дәнекерлеу әдісінің технологиялық мүмкіндігін зерттеу
K.T. Sherov, T.G. Nasad, N.B. Abisheva, A.B. Esirkepova, A.B. Yerzhanova, K.I. Imasheva. Investigation of the technological feasibility of the method of friction welding of dissimilar materials
К.Т. Шеров, Т.Г. Насад, Н.Б. Абишева, А.Б. Есиркепова, А.Б. Ержанова, К.И. Имашева. Исследование технологической возможности способа сварки трением разнородных материалов 63
- Т.М. Инербаев, А.У. Абуова, А.К. Даулетбекова, Ф.У. Абуова, Б. Жуман.** Ga құрамының өзгеруімен D03 құрылымының Fe-Ga қорытпасындағы электронды құрылымның модификациясы және теріс магнитострикциясы
T.M. Inerbaev, A.U. Abuova, A.K. Dauletbekova, F.U. Abuova, B. Zhuman. Electronic structure modification and negative magnetostriction in Fe-Ga alloy of D03 structure with Ga content variation
Т.М. Инербаев, А.У. Абуова, А.К. Даулетбекова, Ф.У. Абуова, Б. Жуман. Модификация электронной структуры и отрицательная магнитострикция в сплаве Fe-Ga структуры D03 с изменением содержания Ga 74
- А.А. Сағитов, К.Т. Шеров, Г.М. Тусупбекова.** Металл кесуші құралдың тозуға төзімділігі және кесу кезінде қайталама жанасушы құрылымдардың түзілуі
A.A. Sagitov, K.T. Sherov, G.M. Tusupbekova. Wear resistance of metal-cutting tools and formation of secondary contact structures during cutting
А.А. Сағитов, К.Т. Шеров, Г.М. Тусупбекова. Износостойкость металлорежущего инструмента и образование вторичных контактных структур при резании 87
- Б.Б.Тогызбаева, А.Б. Забиева, А.А. Каражанов, Ж.Р. Алипбаев.** Суық жағдайда жанасу-шаршау ақаулары пайда болған кезде рельсті бұзу механикасын зерттеу
B.Togizbayeva, A. Zabiyeva, A. Karazhanov, Zh. Alipbayev. Investigation of the mechanics of rail failure in the event of contact fatigue defects in cold conditions
Б.Б.Тогызбаева, А.Б. Забиева, А.А. Каражанов, Ж.Р. Алипбаев. Исследование механики разрушения рельса при возникновении контактно-усталостных дефектов в холодных условиях 98
- Г.Т. Бекманова, А.С. Омарбекова, А. Зулхажав, Б.М. Султан, Ж. Онаша, Б. Тимур.** Университеттің цифрлық сервистері: «Smart.ENU» мобильді қосымшасы
G.T. Bekmanova, A.S. Omarbekova, A. Zulkhazhav, B.M. Sultan, Zh. Onasha, B. Timur. Digital services of the University: mobile application "Smart.ENU"
Г.Т. Бекманова, А.С. Омарбекова, А. Зулхажав, Б.М. Султан, Ж. Онаша, Б. Тимур. Цифровые сервисы Университета: мобильное приложение «Smart.ENU» 105
- Ж.М. Кожирбаев, Ж.А. Есенбаев.** Теңгерілмеген аудио және мәтіндік деректерді топологиялық талдау
Zh.M. Kozhirbayev, Zh.A. Yessenbayev. Topological analysis of unaligned audio and text data
Ж.М. Кожирбаев, Ж.А. Есенбаев. Топологический анализ невыровненных аудио- и текстовых данных 116
- М. Кулиш, Ж.Д. Жұмабекова, Е.Б. Фирсов, З.А. Аубакирова, Г.А. Жаирбаева.** Бентонит сазын өндіретін кәсіпорында сапа менеджменті жүйесін енгізу
M. Kulisz, J.D. Zhumabekova, E.B. Firsova, Z.A. Aubakirova, G.A. Zhairbaeva. Implementation of the quality management system in the enterprise producing bentonite clay
М. Кулиш, Ж.Д. Жұмабекова, Е.Б. Фирсов, З.А. Аубакирова, Г.А. Жаирбаева. Внедрение системы менеджмента качества на предприятии по производству бентонитовой глины 127



Ірі түйіршікті топырақты өңдеуге арналған грейферлі экскаватордың жаңа жұмыс жабдығының негізгі параметрлерін негіздеу

Аңдатпа. Жер қазатын машиналардың жұмыс органдарының дәстүрлі конструкциялары Төтенше жағдайлар кезінде сел шөгінділері мен басқа да үйінділердің ірі сынық топырақтарын игеруге бейімделмеген, бұл олардың өнімділігінің төмендеуіне әкеледі. Сондықтан осы машиналардың функционалдық мүмкіндіктерін кеңейтуге мүмкіндік беретін ірі кесекті қоспалары бар сел шығару орындарын әзірлеу үшін бір шөмішті экскаваторлардың арнайы жұмыс органдарын құру қажет. Зерттеу мақсаты аналитикалық зерттеулер мен компьютерлік модельдеу негізінде экскаватордың арнайы жұмыс органын кеңейту механизмінің кинематикалық және күштік параметрлерін анықтау болып табылады. Экскаватордың арнайы жұмыс органы механизмінің буындарын анықтау әдістемесі ұсынылған: буындар нүктелерінің позицияларын, координаттарын анықтау алгоритмдері мен әдістері; бұрыштық жылдамдықтар мен буындардың үдеуін анықтау үшін векторлық формадағы арнайы экскаватор шөмішінің иектерін кеңейту механизмінің тәуелсіз контурларының оқшаулау теңдеулері және параметрлердің сандық және графикалық мәндері алынды.

Түйін сөздер: арнайы жұмыс органы, экскаватор шөміші, байланыс нүктелерінің координаттары.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-7-18

Кіріспе

Қазақстан Республикасы аумағының едәуір бөлігі сел және сейсмикалық аймақтарда орналасқан, оларда 70-тен астам селден қорғайтын инженерлік құрылыстар жұмыс істейді, олардың көпшілігі 1974-1985 жылдары пайдалануға берілген. Осы уақыт ішінде сел қаупі бар өзендердің бассейндерінде 40-тан астам сел тасқыны тіркелді, олардың көпшілігі қорғаныс құрылыстарына қатты материалдың көп мөлшерін бөлумен қатар жүрді [1].

Жұмыстың өзектілігі

Сел тасқыны нәтижесінде топырақ ортасының жинақталуы байқалады, ол негізінен дәстүрлі жұмыс жабдықтары бар және әрдайым еңбек жағдайларын қанағаттандырмайтын жер қазатын машиналармен (экскаваторлар, тиегіштер, бульдозерлер) жойылады. Селге қарсы құрылыстарды пайдалану, сел ағындары мен бітелулерді тазарту нақты сел ортасына бейімделген тиімді жұмыс органдарымен механикаландыру құралдарын таңдаусыз мүмкін емес. Төтенше жағдайларда кеңінен қолданылатын дәстүрлі құрылыс машиналарының тиімділігін арттыру үшін арнайы жұмыс органдарын құруды талап ететін ірі түйіршікті топырақтарды игеру өте қиын [2,3].

Қойылған міндеттер

Ақпараттық материалдарды талдау бір шөмішті экскаваторлар дамуындағы прогресс олардың конструкцияларын күрделендіру бағытында дамитынын көрсетеді. Мысал ретінде күшейтіп жұмыс істейтін жұмысшы органдарды, жұмыс жабдықтарын өңдеуді, драглайн шөміштерін және т. б. айтуға болады [4].

Әдеби дереккөздерді, патенттік ақпаратты талдау негізінде бір шөмішті экскаваторлардың жұмыс органдарының негізгі бағыттары мен даму тенденциялары және олардың сел ағындары мен бітелулерін тазарту мүмкіндіктері анықталады. Жер қазу техникасын дамытудың анықталған негізгі бағыттары сел ағындарының ірі түйіршікті топырақтарын игеруге бейімделген жұмысшы органдардың іс жүзінде жоқ екенін көрсетті [5].

Жаңалығы

Бір шөмішті экскаваторларда пайдаланылатын дәстүрлі және ұсынылатын жұмыс органдарының жалпы кемшілігі пайдаланудағы төмен сенімділік, сел массасының құрамындағы ірі тастарды қармау және жылжыту мүмкін еместігі, жұмыс органын өзгерту бойынша құтқару және қалпына келтіру жұмыстары кезінде уақытты жоғалту болып табылады [6].

Зерттеу әдістері

Бұл кемшіліктерді гидравликалық басқарылатын иегі бар гидравликалық экскаватордың жұмыс жабдықтарын пайдалану арқылы жоюға болады. Гидравликалық басқарылатын шөмішпен жабдықталған экскаватордың жаңа жұмыс жабдығының негізгі параметрлерінің негіздемесі сел топырақ ортасының ірі түйіршікті топырақтарын игеру кезінде функционалдық және технологиялық мүмкіндіктерінің кеңеюін қамтамасыз етеді.

Зерттеу нәтижелері

Шөмішпен координаттар жүйесін OXY қатаң байланыстырамыз. Координаттар жүйесіне OXY қатысты, шөміш топсаларымен қатаң байланысқан координаттар берілсін деп есептейік: $A(A')$, $F(F')$; $G(G')$). Иекті жылжыту механизмінің сызықтық өлшемдері де белгілі болсын: $AB(A'B')$. OXY координаттар жүйесіне қатысты барлық буындардың орналасуын, сондай-ақ бізді қызықтыратын буындар нүктелерінің координаттарын анықтаймыз.

Осы қозғалыстарды тудыратын күштерді ескерместен, бір шөмішті экскаватордың жаңа жұмыс органының шөмішінің гидробасқарылатын иектің буындарының қозғалысын қарастырамыз. Механизмнің негізгі мақсаты-оның кинематикалық сипаттамалары арқылы сипатталатын қажетті қозғалыстарды орындау. Оларға жалпыланған координаттар, буындар мен олардың нүктелерінің координаттары, сондай-ақ олардың жылдамдығы мен үдеуі жатады. Кинематикалық сипаттамалардың қатарына бастапқы буындардың қозғалыс заңына тәуелді еместер де жатады, олар тек механизмнің құрылымымен, оның буындарының өлшемімен анықталады және жалпы жағдайда жалпыланған координаттарға байланысты болады. Бұлар орналасу функциялары, механизм буындары мен олардың нүктелерінің жылдамдықтары мен үдеулерінің аналогтары.

Алдынан белгілі, жазық рычаг механизмдерін кинематикалық талдаудың ең жалпы тәсілдері тәуелсіз векторлық контурлар әдісін қолдануға негізделген [7,8]. Жазық рычаг механизмі

буындарының ережелері туралы мәселенің жалпы тұжырымдамасы мынадай түрде қойылады: векторлық тұйық контурлар әдісі негізінде берілген параметрлер мен сыртқы топсалардың орналасуы кезінде кіріс (жетекші) буындарының жалпыланған координаталарынан шығыс (жетектегі) буындарының орналасуының функцияларын табу қажет. Егер механизмде бірнеше құрылымдық топтар болса, онда кинематикалық талдау осы топтардың қосылу реттілігімен орындалады. Бұл жағдайда механизмнің жеке буындарымен байланысты координаталар жүйесінен басқа, әрбір құрылымдық топ үшін координаттар жүйесі анықталуы керек, оған қатысты топ буындары ферманы құрайды, яғни еркіндік дәрежелерінің саны нөлге тең болады [9].

Шығыс (жетектегі) буындарының ережелері туралы мәселені шешу үшін механизмнің кинематикалық схемасы және бір еркіндік дәрежесі бар кіріс (жетекші) буынының жағдайы немесе бірнеше еркіндік дәрежесі бар механизм үшін кіріс (жетекші) буындарының жағдайы берілуі тиіс.

Қармауыштың барлық буындарының орналасуын анықтау үшін жалпыланған АВ координаты мен қармауыштың тұрақты параметрлерін беру жеткілікті: BF, BC, CF, CD, DG, GE буындар ұзындығы, γ , A(xa,ya), F(xf,yf), G(xg,yg) тірек координаттары.

В нүктесінің координатасын анықтау үшін алдымен AF қашықтығын табамыз:

$$AF = \sqrt{(xf - xa)^2 + (yf - ya)^2} \tag{1}$$

$$\theta_{AF} = \arctg\left(\frac{yf - ya}{xf - xa}\right)$$

Бұрышты анықтаймыз және косинустар теоремасы бойынша

$$\varphi = \arccos\left(\frac{AB^2 + AF^2 - BF^2}{2 \cdot AB \cdot AF}\right)$$

бұрышты анықтаймыз. Онда бұрыш болады:

$$\theta_{AB} = \theta_{AF} - \arccos\left(\frac{AB^2 + AF^2 - BF^2}{2 \cdot AB \cdot AF}\right)$$

В нүктесінің координатасын қозғалмайтын координаттар жүйесіне GX_Y қатысты келесі қатынастан анықтаймыз:

$$\begin{Bmatrix} xb \\ yb \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} xa \\ ya \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \cos(\theta_{AB}) & -\sin(\theta_{AB}) \\ \sin(\theta_{AB}) & \cos(\theta_{AB}) \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} AB \\ 0 \end{Bmatrix}, \tag{2}$$

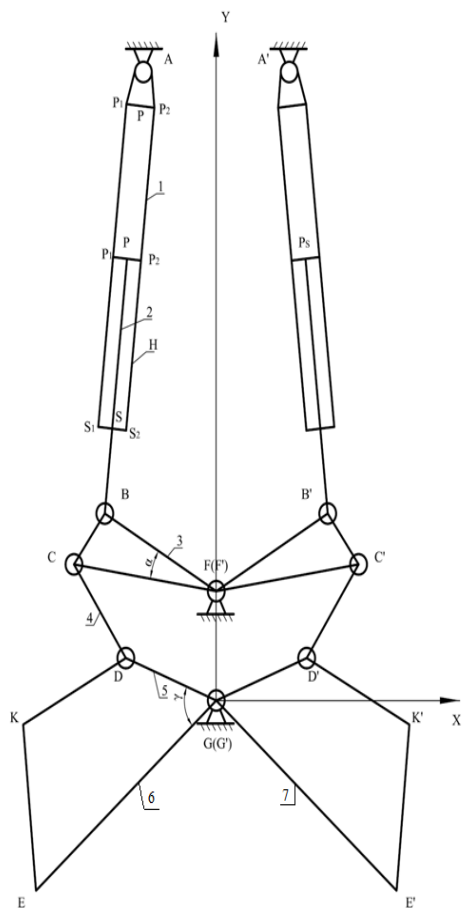
мұнда $AB = 1288 + 7,04 \cdot i, i = 0 \dots 74$.

С нүктесінің координатасын анықтау үшін косинустар теоремасынан алдын-ала тұрақты бұрышты анықтаймыз

$$\alpha = \arccos\left(\frac{BF^2 + CF^2 - BC^2}{2 \cdot BF \cdot CF}\right),$$

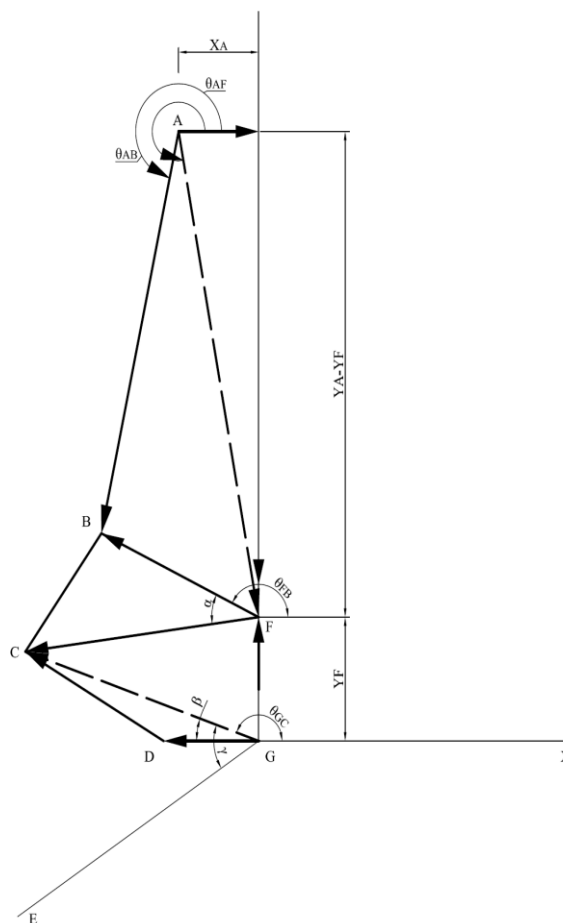
және бұрыш болады

$$\theta_{FB} = \arctg\left(\frac{yb - yf}{xb - xf}\right) \text{ (2-сурет).}$$



1-сурет. Төтенше жағдайлар кезінде зардаптарды жоюға арналған гидравликалық экскаватордың гидробасқарылатын иегі бар жұмыс жабдығының кинематикалық схемасы.

1-гидроцилиндр, 2-шток, 3-жоғарғы рычаг, 4-тартқыш, 5-төменгі рычаг, 6-иек, 7-шөміш.



2-сурет. Кинематикалық жұптардағы байланыс реакциясын анықтауға арналған гидроиектің 1-ші буынының есептік схемасы

Сонымен С нүктесінің координаттары келесі өрнектен анықталады:

$$\begin{Bmatrix} xc \\ yc \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} xf \\ yf \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \cos(\theta_{FB} + \alpha) & -\sin(\theta_{FB} + \alpha) \\ \sin(\theta_{FB} + \alpha) & \cos(\theta_{FB} + \alpha) \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} CF \\ 0 \end{Bmatrix}$$

D нүктесінің координаттарын анықтау үшін алдымен келесі шамаларды анықтау керек: CG айнымалы ұзындықты

$$CG = \sqrt{(xc - xg)^2 + (yc - yg)^2},$$

бұрыш

$$\theta_{GC} = \arctg\left(\frac{yc - yg}{xc - xg}\right),$$

және косинустар теоремасынан тұрақты бұрышты β

$$\beta = \arccos\left(\frac{CG^2 + DG^2 - CD^2}{2 \cdot CG \cdot DG}\right).$$

Онда, сәйкесінше, D, E нүктелерінің координаттары келесі қатынастардан анықталады:

$$\begin{cases} xd \\ yd \end{cases} = \begin{cases} xg \\ yg \end{cases} + \begin{cases} \cos(\theta_{GC} + \beta) & -\sin(\theta_{GC} + \beta) \\ \sin(\theta_{GC} + \beta) & \cos(\theta_{GC} + \beta) \end{cases} \begin{cases} DG \\ 0 \end{cases}, \\ \begin{cases} xe \\ ye \end{cases} = \begin{cases} xg \\ yg \end{cases} + \begin{cases} \cos(\theta_{GC} + \beta + \gamma) & -\sin(\theta_{GC} + \beta + \gamma) \\ \sin(\theta_{GC} + \beta + \gamma) & \cos(\theta_{GC} + \beta + \gamma) \end{cases} \begin{cases} GF \\ 0 \end{cases}.$$

Сонымен біз $B(x_B, y_B)$, $E(x_E, y_E)$ және $D(x_D, y_D)$ нүктелерінің координаталарын XOY жергілікті координаттар жүйесіне қатысты анықтадық.

Механизм нүктелерінің жылдамдығы мен үдеуін анықтау үшін буындардың бұрыштық жылдамдықтары мен үдеулерінің аналогтарын, сондай-ақ механизм буындары нүктелерінің сызықтық жылдамдықтар мен үдеулерінің аналогтарын анықтау қажет [10]. Механизм буындарының бұрыштық жылдамдықтары мен үдеулерінің аналогтары сәйкесінше жалпыланған координат бойынша тәуелсіз жабық контурлардың тұйықталу теңдеулерінің бір және екі есе дифференциалдануы болып табылады [11]. Сонымен қатар, механизм класына қарамастан, тәуелсіз контурлардың тұйықталу теңдеуінің жалпыланған координаты бойынша дифференциалдау санына байланысты бұрыштық жылдамдықтардың немесе үдеулердің аналогтарына қатысты сызықтық теңдеулер жүйесін аламыз.

Зерттеліп отырған механизмнің (қармауыштың) жетекші буыны 1-буынға тиесілі цилиндрде H қозғалатын байланыстырушы шатундағы поршень болып табылады (2- суретті қараңыз). Бұл механизмде жалпыланған координат айнымалы AB қашықтығы болып табылады.

Механизмдегі тәуелсіз контурлар саны (k) Эйлер топологиялық формуласы бойынша анықталады

$$k = p - n + 1.$$

мұнда p , n – механизмнің кинематикалық жұптары мен буындарының саны.

Зерттелетін механизм үшін $p = 7$, $n = 6$, онда $k = 7 - 6 + 1 = 2$, яғни, бұл механизмде екі тәуелсіз контур бар.

Бірінші тәуелсіз тұйық контур (2-суретті қараңыз):

$$\overline{AB} - \overline{BF} - (\overline{y_A} - \overline{y_F}) - \overline{x_A} = 0 \tag{3}$$

GXY осінде векторлардың тұйықталу теңдеуін (2) жобалау арқылы келесі теңдеу жүйесін аламыз:

$$\begin{cases} AB \cos(\theta_{AB}) - BF \cos(\theta_{FB}) - \overline{x_A} = 0, \\ AB \sin(\theta_{AB}) - BF \sin(\theta_{FB}) - (\overline{y_A} - \overline{y_F}) = 0, \end{cases} \tag{4}$$

$$\theta_{FB} = \arctg\left(\frac{y_B - y_F}{x_B - x_F}\right).$$

мұнда

(4) жүйесін жалпыланған координаттар AB бойынша дифференциалдау арқылы аламыз:

$$\begin{cases} \cos(\theta_{AB}) - AB \sin(\theta_{AB}) \frac{d\theta_{AB}}{dAB} + BF \sin(\theta_{FB}) \frac{d\theta_{FB}}{dAB} = 0, \\ \sin(\theta_{AB}) + AB \cos(\theta_{AB}) \frac{d\theta_{AB}}{dAB} - BF \cos(\theta_{FB}) \frac{d\theta_{FB}}{dAB} = 0. \end{cases} \tag{5}$$

(5) теңдеуін матрицалық түрге келтіреміз:

$$\begin{bmatrix} -AB \sin(\theta_{AB}) & BF \sin(\theta_{FB}) \\ AB \cos(\theta_{AB}) & -BF \cos(\theta_{FB}) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{d\theta_{AB}}{dAB} \\ \frac{d\theta_{FB}}{dAB} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -\cos(\theta_{AB}) \\ -\sin(\theta_{AB}) \end{Bmatrix} \quad (6)$$

(6) теңдеулер жүйесінен θ_{AB} және θ_{FB} бұрыштарының бұрыштық жылдамдықтарының аналогтарын $\frac{d\theta_{AB}}{dAB}$ және $\frac{d\theta_{FB}}{dAB}$ анықтаймыз.

(4) теңдеулер жүйесін жалпыланған координаттар АВ жүйесі бойынша екінші рет дифференциалдап, келесі теңдеулер жүйесін аламыз:

$$\begin{cases} -\sin(\theta_{AB}) \frac{d\theta_{AB}}{dAB} - \sin(\theta_{AB}) \frac{d\theta_{AB}}{dAB} - AB \cos(\theta_{AB}) \left(\frac{d\theta_{AB}}{dAB} \right)^2 - AB \sin(\theta_{AB}) \frac{d^2\theta_{AB}}{dAB^2} + \\ BF \cos(\theta_{FB}) \left(\frac{d\theta_{FB}}{dAB} \right)^2 + BF \sin(\theta_{FB}) \frac{d^2\theta_{FB}}{dAB^2} = 0, \\ \cos(\theta_{AB}) \frac{d\theta_{AB}}{dAB} + \cos(\theta_{AB}) \frac{d\theta_{AB}}{dAB} - AB \sin(\theta_{AB}) \left(\frac{d\theta_{AB}}{dAB} \right)^2 + AB \cos(\theta_{AB}) \frac{d^2\theta_{AB}}{dAB^2} + \\ BF \sin(\theta_{FB}) \left(\frac{d\theta_{FB}}{dAB} \right)^2 - BF \cos(\theta_{FB}) \frac{d^2\theta_{FB}}{dAB^2} = 0; \end{cases}$$

Бұл теңдеулерді матрицалық түрде жазамыз

$$\begin{bmatrix} -AB \sin(\theta_{AB}) & BF \sin(\theta_{FB}) \\ AB \cos(\theta_{AB}) & -BF \cos(\theta_{FB}) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{d^2\theta_{AB}}{dAB^2} \\ \frac{d^2\theta_{FB}}{dAB^2} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 2 \sin(\theta_{AB}) \frac{d\theta_{AB}}{dAB} + AB \cos(\theta_{AB}) \left(\frac{d\theta_{AB}}{dAB} \right)^2 - BF \cos(\theta_{FB}) \left(\frac{d\theta_{FB}}{dAB} \right)^2 \\ -2 \cos(\theta_{AB}) \frac{d\theta_{AB}}{dAB} + AB \sin(\theta_{AB}) \left(\frac{d\theta_{AB}}{dAB} \right)^2 - BF \sin(\theta_{FB}) \left(\frac{d\theta_{FB}}{dAB} \right)^2 \end{Bmatrix} \quad (7)$$

(7) теңдеулер жүйесінен сәйкес θ_{AB} және θ_{FB} бұрыштарының бұрыштық үдеулер аналогтарын $\frac{d^2\theta_{AB}}{dAB^2}$, $\frac{d^2\theta_{FB}}{dAB^2}$ анықтаймыз.

Екінші тәуелсіз контурдың түйықталу теңдеуі (2-суретті қараңыз):

$$\overline{DG} + \overline{CD} - \overline{CF} - y_F = 0$$

$$\begin{cases} DG \cos(\theta_{GD}) + CD \cos(\theta_{DC}) - CF \cos(\theta_{FC}) = 0, \\ DG \sin(\theta_{GD}) + CD \sin(\theta_{DC}) - CF \sin(\theta_{FC}) - y_F = 0, \end{cases} \quad (8)$$

мұнда $\theta_{GD} = \arctg\left(\frac{y_D - y_G}{x_D - x_G}\right)$, $\theta_{DC} = \arctg\left(\frac{y_C - y_D}{x_C - x_D}\right)$, $\theta_{FC} = \arctg\left(\frac{y_C - y_F}{x_C - x_F}\right)$.

(8) теңдеулер жүйесін жалпыланған координаттар АВ жүйесі бойынша дифференциалдаймыз, сонда болады:

$$\begin{cases} -DG \sin(\theta_{GD}) \frac{d\theta_{GD}}{dAB} - CD \sin(\theta_{DC}) \frac{d\theta_{DC}}{dAB} + CF \sin(\theta_{FC}) \frac{d\theta_{FB}}{dAB} = 0, \\ DG \cos(\theta_{GD}) \frac{d\theta_{GD}}{dAB} + CD \cos(\theta_{DC}) \frac{d\theta_{DC}}{dAB} - CF \cos(\theta_{FC}) \frac{d\theta_{FB}}{dAB} = 0, \\ \frac{d\theta_{FC}}{dAB} = \frac{d\theta_{FB}}{dAB}. \end{cases}$$

Бұл теңдеулер жүйесін матрицалық түрге келтіреміз:

$$\begin{bmatrix} -DG \sin(\theta_{GD}) & -CD \sin(\theta_{DC}) \\ DG \cos(\theta_{GD}) & CD \cos(\theta_{DC}) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{d\theta_{GD}}{dAB} \\ \frac{d\theta_{DC}}{dAB} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -CF \sin(\theta_{FC}) \frac{d\theta_{FB}}{dAB} \\ CF \cos(\theta_{FC}) \frac{d\theta_{FB}}{dAB} \end{Bmatrix} \quad (9)$$

$$\frac{d\theta_{GD}}{dAB}$$

(9) теңдеуінен θ_{GD} және θ_{DC} бұрыштарының бұрыштық жылдамдық аналогтарын $\frac{d\theta_{DC}}{dAB}$

және $\frac{d\theta_{GD}}{dAB}$ анықтаймыз.

(8) теңдеуін жалпыланған координаттар АВ бойынша екінші рет дифференциалдап, келесіні аламыз:

$$\begin{cases} -DG \cos(\theta_{GD}) \left(\frac{d\theta_{GD}}{dAB}\right)^2 - DG \sin(\theta_{GD}) \frac{d^2\theta_{GD}}{dAB^2} - CD \cos(\theta_{DC}) \left(\frac{d\theta_{DC}}{dAB}\right)^2 - CD \sin(\theta_{DC}) \frac{d^2\theta_{DC}}{dAB^2} + \\ CF \cos(\theta_{FC}) \left(\frac{d\theta_{FB}}{dAB}\right)^2 + CF \sin(\theta_{FC}) \frac{d^2\theta_{FB}}{dAB^2} = 0, \\ -DG \sin(\theta_{GD}) \left(\frac{d\theta_{GD}}{dAB}\right)^2 + DG \cos(\theta_{GD}) \frac{d^2\theta_{GD}}{dAB^2} - CD \sin(\theta_{DC}) \left(\frac{d\theta_{DC}}{dAB}\right)^2 + CD \cos(\theta_{DC}) \frac{d^2\theta_{DC}}{dAB^2} + \\ CF \sin(\theta_{FC}) \left(\frac{d\theta_{FB}}{dAB}\right)^2 - CF \cos(\theta_{FC}) \frac{d^2\theta_{FB}}{dAB^2} = 0; \end{cases}$$

немесе матрицалық түрде:

$$\begin{bmatrix} -DG \sin(\theta_{GD}) & -CD \sin(\theta_{DC}) \\ DG \cos(\theta_{GD}) & CD \cos(\theta_{DC}) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{d^2\theta_{GD}}{dAB^2} \\ \frac{d^2\theta_{DC}}{dAB^2} \end{Bmatrix} =$$

$$= \begin{Bmatrix} DG \cos(\theta_{GD}) \left(\frac{d\theta_{GD}}{dAB}\right)^2 + CD \cos(\theta_{DC}) \left(\frac{d\theta_{DC}}{dAB}\right)^2 - CF \cos(\theta_{FC}) \left(\frac{d\theta_{FB}}{dAB}\right)^2 - CF \sin(\theta_{FC}) \frac{d^2\theta_{FB}}{dAB^2} \\ DG \sin(\theta_{GD}) \left(\frac{d\theta_{GD}}{dAB}\right)^2 + CD \sin(\theta_{DC}) \left(\frac{d\theta_{DC}}{dAB}\right)^2 - CF \sin(\theta_{FC}) \left(\frac{d\theta_{FB}}{dAB}\right)^2 + CF \cos(\theta_{FC}) \frac{d^2\theta_{FB}}{dAB^2} \end{Bmatrix}. \quad (10)$$

(10) теңдеулер жүйесін шеше отырып, сәйкес θ_{GD} және θ_{DC} бұрыштарының бұрыштық

үдеулерінің аналогтарын $\frac{d^2\theta_{GD}}{dAB^2}$, $\frac{d^2\theta_{DC}}{dAB^2}$ анықтаймыз.

Е нүктесінің координаттарын келесі өрнектерден анықтаймыз:

$$\begin{cases} x_E = GE \cos(\theta_{GE}), \\ y_E = GE \sin(\theta_{GE}), \end{cases} \quad (11)$$

$$\theta_{GE} = \arctg\left(\frac{y_E - y_G}{x_E - x_G}\right)$$

мұнда

(11) өрнегін уақыт бойынша дифференциялдап, E нүктесінің жылдамдығын табамыз:

$$\begin{cases} \frac{dx_E}{dt} = -GE \sin(\theta_{GE}) \frac{d\theta_{GD}}{dAB} \frac{dAB}{dt}, \\ \frac{dy_E}{dt} = +GE \cos(\theta_{GE}) \frac{d\theta_{GD}}{dAB} \frac{dAB}{dt}. \end{cases} \quad (12)$$

E нүктесінің жылдамдық модулі мынаған тең болады:

$$g_E = \sqrt{g_{x_E}^2 + g_{y_E}^2}$$

(12) өрнегін уақыт бойынша дифференциялдап, E нүктесінің үдеуін табамыз:

$$\begin{cases} a_{x_E} = \frac{d^2 x_E}{dt^2} = -GE \cos(\theta_{GE}) \left(\frac{d\theta_{GD}}{dAB} \frac{dAB}{dt}\right)^2 - GE \sin(\theta_{GE}) \frac{d^2 \theta_{GD}}{dAB^2} \left(\frac{dAB}{dt}\right)^2 - \\ GE \sin(\theta_{GE}) \frac{d\theta_{GD}}{dAB} \frac{d^2 AB}{dt^2}, \\ a_{y_E} = \frac{d^2 y_E}{dt^2} = -GE \sin(\theta_{GE}) \left(\frac{d\theta_{GD}}{dAB} \frac{dAB}{dt}\right)^2 + GE \cos(\theta_{GE}) \frac{d^2 \theta_{GD}}{dAB^2} \left(\frac{dAB}{dt}\right)^2 + \\ GE \cos(\theta_{GE}) \left(\frac{d\theta_{GD}}{dAB}\right)^2 \frac{d^2 AB}{dt^2}. \end{cases}$$

E нүктесінің үдеуінің модулі мынаған тең:

$$a_E = \sqrt{a_{x_E}^2 + a_{y_E}^2}$$

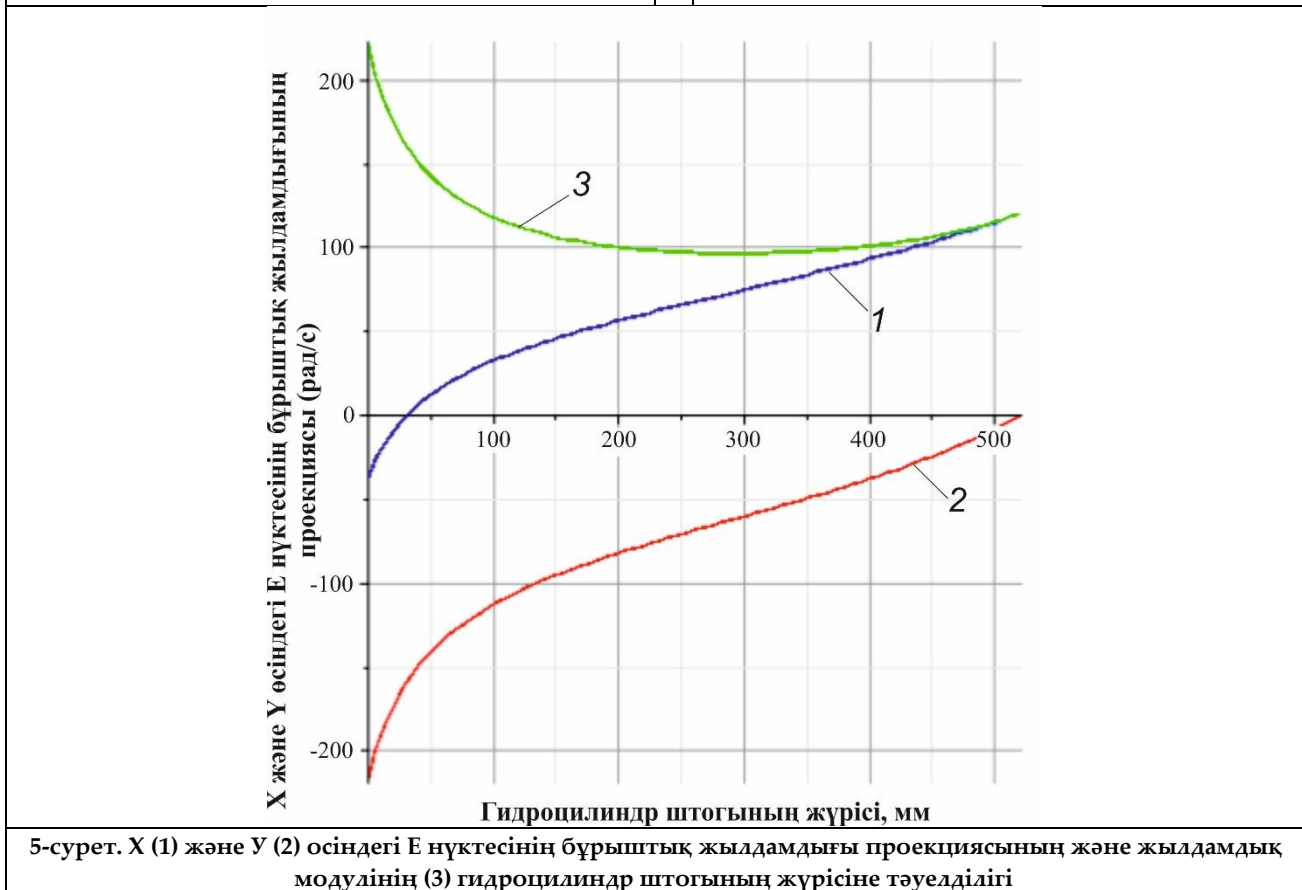
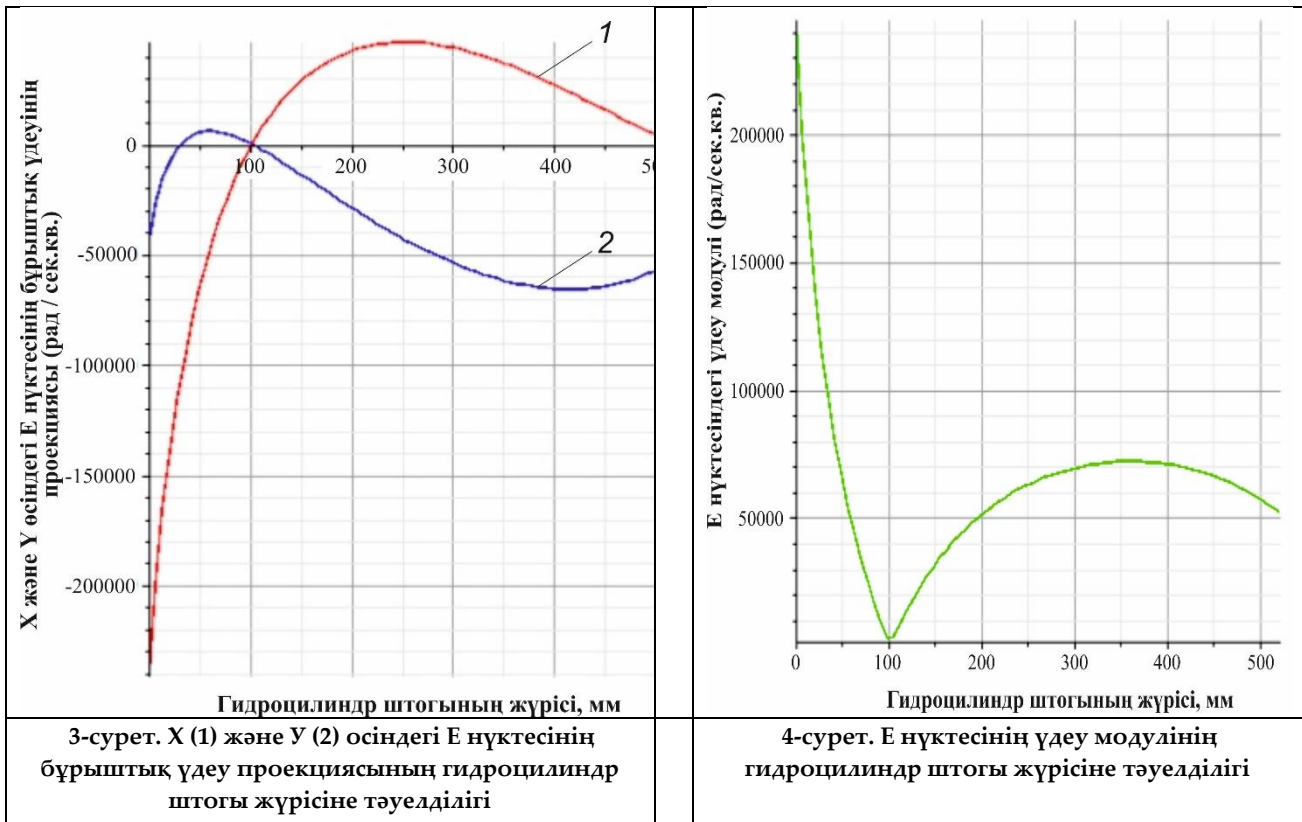
Әзірленген бағдарлама бойынша алынған тәуелділіктерді компьютерлік модельдеу екі режимде жүргізілді:

- грейфер режимінде ірі сынғыш тастарды ұстап алу бойынша гидроиекті жылжыту механизмінің жұмысы;
- кәдімгі кері күрек шөміші режимінде гидроиекті жылжыту механизмінің бірлескен жұмысы.

Гидравликалық экскаватордың арнайы шөмішінің гидробасқарылатын иегі механизмінің есептеу бағдарламасы жасалды және кинематикалық және күштік сипаттамалары сандық және графикалық түрде алынды.

Сандық нәтижелерді алу үшін «Maple 18. The Essential Tool for Mathematics and Modeling» компьютерлік бағдарламасы қолданылды.

X және Y осіндегі E нүктесінің бұрыштық үдеу проекциясы мен үдеу модулінің гидроцилиндр штогының жүрісіне тәуелділігінің графикалық интерпретациясы 3, 4 және 5 суреттерде берілген.



3-5 суреттерінде келтірілген тәуелділікті талдау көрсеткендей, бір шөмішті экскаватордың жұмыс жабдығының шөмішінің гидробасқарылатын иегінің ұсынылған конструкциясы 1 метрге дейінгі тас блоктарды иегі максималды ашылғанда ұстап алуға мүмкіндік береді, бұл

гидравликалық цилиндрдің штогының 280 мм жүрісі кезінде қамтамасыз етіледі.

Нәтижелерді талқылау

Ұсынылған кинематикалық және күштік талдау әдісі үлкен түйіршікті топырақты игеру үшін бір шөмішті экскаватордың арнайы жұмыс органының гидробасқарылатын механизмінің геометриялық, кинематикалық және күштік параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді. Гидравликалық басқарылатын шөміштің жұмыс органын кинематикалық талдау алгоритмі дербес компьютерге арналған бағдарлама түрінде жасалады, зерттелетін механизмнің кинематикалық параметрлерінің сандық мәндері алынады, бұл блок-схеманы таңдауға және иектің гидравликалық басқарылатын бөліктерінің өлшемдерін анықтауға мүмкіндік береді.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Кульгильдинов М.С., Кульгильдинов Б.М., Каукаров А.К. Физико-механические характеристики селевых выносов и оползней как среды взаимодействия с рабочими органами землеройных машин // Материалы Международной научно-практической конференции «Потенциал современной науки», 30 ноябрь 2018 г. Прага, Чехия. - с.24-30.
2. Kulgildinov M., Kaukarov A., Kamzanov N., Taran M., Kulgildinov B., Zhauyt A. Determination of Kinematic and Force Parameters of the Special Bucket Shovel for the Development of Large-Block Soils // International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, Vol. 9, No. 6, pp. 813-824
3. Кульгильдинов М.С., Кульгильдинов Б.М., Каукаров А.К. Специальные рабочие органы землеройных машин для ликвидации последствий при чрезвычайных ситуациях // Материалы ХЛП Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика», 18 апреля 2018 г., г. Алматы, КазАТК им. М.Тынышпаева - с. 263-268.
4. Кульгильдинов М.С., Кульгильдинов Б.М., Каукаров А.К. Бір шөмішті экскаваторлардың жұмыс органдарының даму үрдістері // Вестник КазАТК, №3, 2019. с. 73-79.
5. Кульгильдинов М.С., Кульгильдинов Б.М., Каукаров А.К., Камзанов Н.С., Кочетков А.В. Төтенше жағдайлар салдарын жою үшін экскаваторлар шөміштерінің конструкцияларының дамуын талдау. // Сборник научных трудов восьмой международной научно-практической конференции «Автомобильные дороги и транспортная техника: проблемы и перспективы развития», посвященную 80-летию Р.А.Кабашева и 20-летию КазАДИ. 19 декабря 2019 г. г.Алматы, КазАДА (КазАДИ) им. Л.Б.Гончарова. с. 136-140.
6. Кульгильдинов М.С., Кульгильдинов Б.М., Каукаров А.К., Кадыров Ж.Н. Специальный рабочий орган гидравлического экскаватора. // № 33997. МПК E02F 3/48 E02F 3/60. Заявка 2018/0769.1 от 22.10.2018 г. Официальный бюллетень, №45 от 08.11.2019 г.
7. Джолдасбеков У.А., Молдабеков М.М. Аналитические методы анализа и синтеза механизмов высоких классов. - Алматы, 1997. - 230 с.
8. Джолдасбеков У.А., Синчев Б.К. Анализ механизмов высоких классов со многими степенями свободы. - Алматы: Гылым, 1994. - 122 с.
9. Kaukarov A., Kokodeeva N., Kochetkov A., Yankovsky L., Chelpanov I. Capture of large objects by the earthmoving machine's implement during operation on motor and toting roads. VIII International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia 2019, Volume 2. p. 285-296. DOI: 10.1007/978-3-030-37919-3 <https://www.springer.com/us/book/9783030379186>
10. Y. Yeleukulov, A. Atalykova, A. Zhauyt, Zh. Abdimuratov, S.Yussupova, A. Alik, G. Kenzhebayeva. Mechanical analysis of vibratory conveyor mechanism. MATEC Web of conferences, Vol. 226 (01019), pp. 1-9, 2018.

11. S. Mitsi, I. Tsiafis, K. D. Bouzakis, Force analysis of six-bar linkage for mechanical presses considering joint frictions, *Journal of the Balkan Tribological Association*, 21, pp. 281-295 (2015).

А.К. Каукаров, М.К. Куанышев

Актюбинский региональный университет им. К.Жубанова, Актюбе, Казахстан

Обоснование основных параметров нового рабочего оборудования грейферного экскаватора для разработки крупнообломочных грунтов

Аннотация. Традиционные конструкции рабочих органов землеройных машин не подходят для разработки крупнозернистых грунтов, селевых отложений и других засоров в экстремальных условиях, что приводит к снижению их производительности. Поэтому для разработки селя с крупными классическими включениями необходимо создание специальных рабочих органов одноковшовых экскаваторов, что позволит расширить функционал этих машин. Предметом исследования является определение кинематических и силовых параметров механизма удлинения специального рабочего органа экскаватора на основе аналитических исследований и компьютерного моделирования. Предложена методика определения звеньев механизма специального рабочего органа экскаватора: алгоритмы и методы определения мест, координат точек звеньев; получены уравнения замыкания и численные и графические значения параметров для независимых контуров механизма удлинения челюсти специального ковша экскаватора векторного типа для определения угловых скоростей и ускорений звеньев.

Ключевые слова: специальный рабочий орган, ковш экскаватора, координаты точек звеньев.

A.K. Kaukarov, M.K. Kuanyshv

K.Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan

Substantiation of the main parameters of the new working equipment of the grab excavator for the development of large-block soils

Abstract. Traditional designs of working bodies of earthmoving machines are not adapted for the development of large-block soils of mudslides and other blockages in emergency situations, which leads to a decrease in their productivity. Therefore, it is necessary to create special working bodies of single-bucket excavators for the development of mudflows with large-block inclusions, allowing to expand the functionality of these machines. The subject of the study is to determine the kinematic and power parameters of the mechanism of extension of a special working body of an excavator based on analytical studies and computer modeling. The article proposes a method for determining the links of the mechanism of a special excavator working body and algorithms and methods for determining the positions, coordinates of the points of the links. As result of the study there have been obtained closure equations of independent contours of the jaw extension mechanism of a special excavator bucket in vector form for determining angular velocities and accelerations of the links and numerical and graphical parameter values.

Keywords: special working body, excavator bucket, coordinates of link points.

References

1. Kul'gil'dinov M.S., Kul'gil'dinov B.M., Kaukarov A.K. Fiziko-mekhanicheskie harakteristiki selevyh vynosov i opolznej kak sredey vzaimodejstviya s rabochimi organami zemlerojnyh mashin // *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Potencial sovremennoj nauki»*, 30

noyabr' 2018 g. Praga, СHekhiya. - s.24-30. [in Russian]

2. Kul'gil'dinov M., Kaukarov A., Kamzanov N., Taran M., Kul'gil'dinov B., Zhauyt A. Determination of Kinematic and Force Parameters of the Special Bucket Shovel for the Development of Large-Block Soils // International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, Vol. 9, No. 6, pp. 813-824

3. Kul'gil'dinov M.S., Kul'gil'dinov B.M., Kaukarov A.K. Special'nye rabochie organy zemlerojnyh mashin dlya likvidacii posledstvij pri chrezvychajnyh situacijah // Materialy XLII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Innovacionnye tekhnologii na transporte: obrazovanie, nauka, praktika», 18 aprelya 2018 g., g. Almaty, KazATK im. M.Tynyshpaeva - s. 263-268. [in Russian]

4. Kul'gil'dinov M.S., Kul'gil'dinov B.M., Kaukarov A.K. Bir shomishti ekskavatorlardyn zhymys organдарын damu yrdisteri // Vestnik KazATK, №3, 2019. s. 73-79. [in Kazakh]

5. Kul'gil'dinov M.S., Kul'gil'dinov B.M., Kaukarov A.K., Kamzanov N.S., Kochetkov A.V. Totenshe zhardajlar saldaryn zhoyu yshin ekskavatorlar shomishterinin konstrukciyalarynyn damuyn taldau. // Sbornik nauchnyh trudov vos'moj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Avtomobil'nye dorogi i transportnaya tekhnika: problemy i perspektivy razvitiya», posvyashchennuyu 80-letiyu R.A.Kabasheva i 20-letiyu KazADI. 19 dekabrya 2019 g. g.Almaty, KazADA (KazADI) im. L.B.Goncharova. s. 136-140. [in Kazakh]

6. Kul'gil'dinov M.S., Kul'gil'dinov B.M., Kaukarov A.K., Kadyrov ZH.N. Special'nyj rabochij organ gidravlicheskogo ekskavatora. // № 33997. MPK E02F 3/48 E02F 3/60. Zayavka 2018/0769.1 ot 22.10.2018 g. Oficial'nyj byulleten', №45 ot 08.11.2019 g. [in Russian]

7. Dzholdasbekov U.A., Moldabekov M.M. Analiticheskie metody analiza i sinteza mekhanizmov vysokih klassov. - Almaty, 1997. - 230 s. [in Russian]

8. Dzholdasbekov U.A., Sinchev B.K. Analiz mekhanizmov vysokih klassov so mnogimi stepenyami svobody. - Almaty: Gylym, 1994. - 122 s. [in Russian]

9. Kaukarov A., Kokodeeva N., Kochetkov A., Yankovsky L., Chelpanov I. Capture of large objects by the earthmoving machine's implement during operation on motor and toting roads. VIII International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia 2019, Volume 2. p. 285-296. DOI: 10.1007/978-3-030-37919-3 <https://www.springer.com/us/book/9783030379186>

10. Y. Yeleukulov, A. Atalykova, A. Zhauyt, Zh. Abdimuratov, S. Yussupova, A. Alik, G. Kenzhebayeva. Mechanical analysis of vibratory conveyor mechanism. MATEC Web of conferences, Vol. 226 (01019), pp. 1-9, 2018.

11. S. Mitsi, I. Tsiafis, K. D. Bouzakis, Force analysis of six-bar linkage for mechanical presses considering joint frictions, Journal of the Balkan Tribological Association, 21, pp. 281-295 (2015).

Авторлар туралы мәлімет:

Каукаров А.К. – «Көлік техникасы, тасымалдауды ұйымдастыру және құрылыс» кафедрасының аға оқытушысы, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ағайынды Жұбановтар көшесі, 265, Ақтөбе, Қазақстан.

Куанышев М.К. – техника ғылымдарының кандидаты, «Көлік техникасы, тасымалдауды ұйымдастыру және құрылыс» кафедрасының доценті, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ағайынды Жұбановтар көшесі, 265, Ақтөбе, Қазақстан.

Kaukarov A.K. – Master, senior lecturer of the Department of "Transport Equipment, Organization of Transportation and Construction", K.Zhubanov Aktobe regional university, Br.Zhubanov str., 265, Aktobe, Kazakhstan.

Kuanyshev M.K. – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of "Transport Equipment, Organization of Transportation and Construction", K.Zhubanov Aktobe regional university, Br.Zhubanov str., 265, Aktobe, Kazakhstan.

Топырақ массивінің DDS технологиясы бойынша орнатылған бұрғыланып толтырылған қадаларымен өзара әрекеттесуін зерттеу

Аңдатпа. Ұсынылып отырған мақалада DDS технологиясын пайдалану арқылы орнатылған бұрғыланып толтырылған қадалардың эксперименттік және есептік көтергіш қабілеттерінің көрсеткіштерін, статикалық сынау мен нормативтік есептеулер бойынша салыстырылған. Соңдай-ақ Drilled Displacement System (DDS) әдісі бойынша орналастырылған қадалардың айналасындағы топырақ үлгілерінің компрессиялық сынау нәтижелері ұсынылған. Деформация модулінің, ішкі үйкеліс бұрышының және ілінісу сияқты топырақтың деформациялық қасиеттерінің бұрғыланып толтырылған қаданың диаметріне тәуелділігі анықталды. DDS технологиясын пайдалану арқылы орнатылған бұрғыланып толтырылған қадалардың бүйір бетінің топырағының жұмыс шартының коэффициенті, дәстүрлі және ұсынылып отырған DDS әдісі бойынша орналасқан бұрғыланып толтырылған қадалардың сандық модельдеу нәтижесі негізінде алынған. DDS инновациялық технологиясының сипаттамасы, бұрғылау шнегінің бұрғылау және топырақты ығыстыру кезіндегі жұмысының түсіндірмелері мен жалпы жоғарыда аталған технологияның артықшылықтары мен оның экономикалық тиімділігі көрсетілген.

Түйін сөздер: қада, статикалық сынақ, лабораториялық сынақ, көтергіш қабілеті, бұрғыланып толтырылған қада.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-19-29

Кіріспе

Заманауи құрылыс инженерлер мен жобалаушылар алдына үлкен мәселелерді шешу үшін инновациялық талаптар қойылады, сол себептен ескірген дәстүрлі шешімдердің орнын экономикалық және экологиялық жағынан тиімді, энергоүнемдеуші жаңа технологиялар мен бірге бұрғыланып толтырылған қадалы іргетастарды орнататын технологиялар алмастырды.

Қадалы іргетас Қазақстан аумағындағы құрылыс алаңдарында ең сұранысқа ие іргетас түрі болып табылады. Қадалы іргетастардың кеңінен қолданылу мақсаты биік ғимараттар мен имараттардан түсетін жүктердің артуына байланысты бұрғыланып толтырылатын қаданың көтергіш қабілетін қамтамыз етуімен түсіндіріледі. Бұрғыланып толтырылған қадалы іргетастарды орнатуға байланысты пайда болған жаңа технологиялар мен құрылыстар жобалаушыларға қазіргі уақыттағы нормативті құжаттардың, сонымен бірге заманауи технологиялар арқылы қадалы іргетастарды орнату бойынша ұсыныстардың жоқтығына байланысты нормативті құжаттарды жетілдіру қажеттілігін туындатады.

Бұл мақалада Drilled Displacement System (әрі қарай DDS) немесе Full Displacement Pile (FDP) заманауи қадаларды орналастыру технологияларын зерттеудің нәтижелері ұсынылды. DDS технологиясы қадалардың көтергіш қабілетін ғана арттырып қоймай, жер жұмыстарының уақытын, жұмыс күші мен қаржыны үнемдеуге мүмкіндік береді [1]. Бұрғыланып толтырылған қадаларды DDS технологиясын қолдану арқылы орнату соңғы онжылдықта Еуропа мен АҚШ-та танымал бола бастады [2]. Аталған технология Қазақстанның құрылыс саласының іргетас құрылымында практикалық қызығушылық тудыратын BAUER неміс құрылыс машина жасау

компаниясының өнімдерінің бірі болып саналады. Бұл технологияның негізгі артықшылықтары:

- қадаларды дайындаудың жоғарғы өнімділігі;
- жоғары экономикалық тиімділігі;
- қаданы орнатар кездегі діріл мен шудың болмауы;
- қадалардың жоғарғы көтергіш қабілеті [3].

Жоғарыда айтылған артықшылықтарға қарамастан, бұл технологияның кемшілігі – қолданыстағы ғимараттар мен имараттардың іргетастарына әсер ету қаупі, сондықтан бұл әдісті қалалық тығыз құрылыс жағдайында қолдану ұсынылмайды.

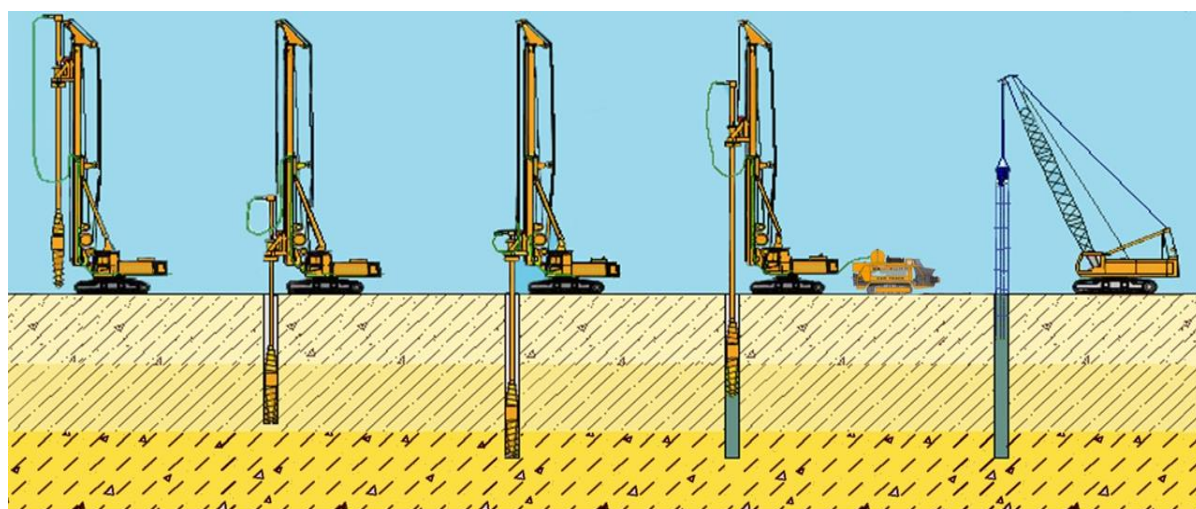
Ұсынылып отырған жұмыстың мақсаты – DDS әдісі бойынша орнатылатын бұрғыланып толтырылған қадалардың эксперименттік (статикалық жүктеме арқылы сынау) және есептік (нормативтік есептік жолымен) көтергіш қабілеттері арасындағы көрсеткіштерінің үлкен айырмашылығын ажырату, сонымен қатар осы технология арқылы қадалардың көтергіш қабілетін талдау.

DDS технологиясының артықшылықтары

Бұрғыланған қадаларды DDS технологиясы бойынша орнату жұмыстарының реттілігі төмендегі операциялардан тұрады (1-сурет):

- бұрғылау жабдығын бұрғылау нүктесіне орнату;
- бұрғылау құралын тығыздау жүйесімен жобалық белгіге дейін батыру;
- ұңғыманы кейіннен бетон қоспасымен толтыра отырып және бұрғылау құралын бір мезгілде шығарып, бетон сорғыны қосу;
- жобалық белгіге дейін арматуралық қаңқаны ұңғымаға батыру.

DDS технологиясының айрықша ерекшелігі - бұрғылау құрылғысы болып табылады (1-сурет). Бұрғылау құралымен бұрғылау кезінде, бұрғылаумен бір мезгілде ұңғыманы ығыстыру жүргізіледі, соның нәтижесінде топырақты қазусыз радиалды тығыздау жүргізіледі, жоғары қарай жүргізу кезінде қабырғалар қосымша тығыздалады [4].



1. Бұрғылау шнегін нүктеге орнату

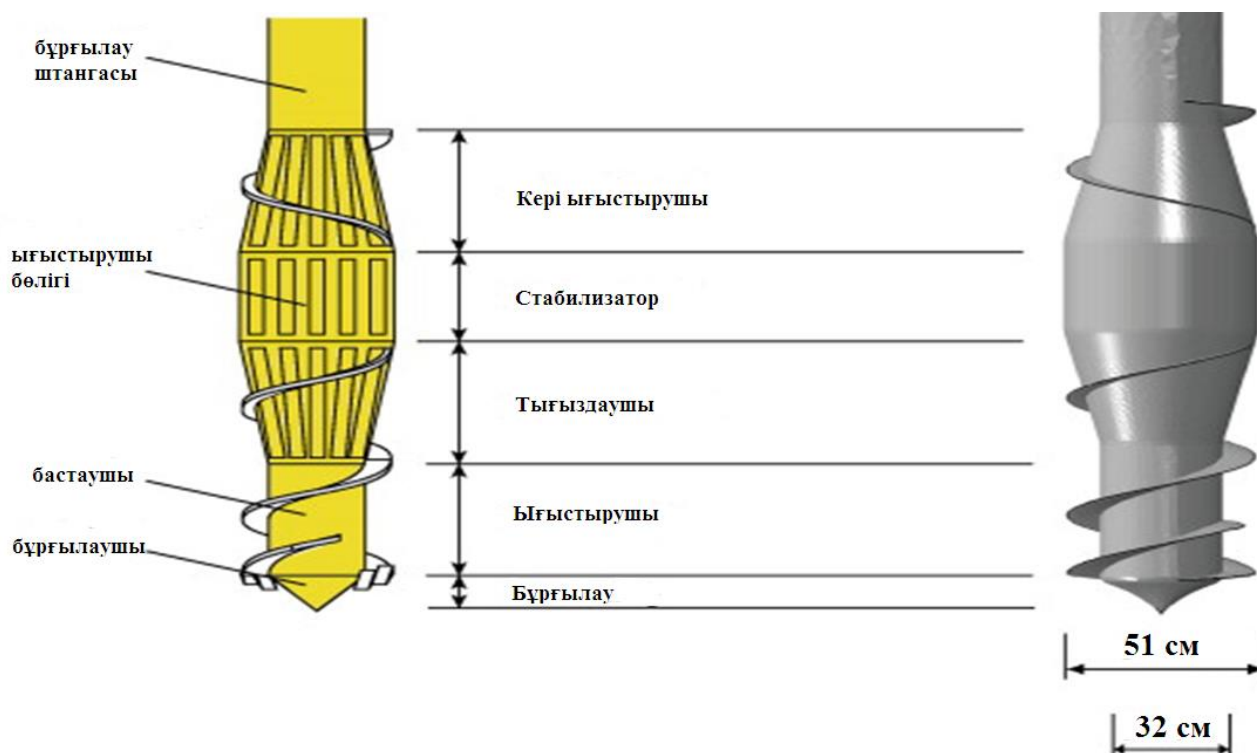
2. Бұрғылау құралын тығыздау жүйесімен жобалық белгіге дейін батыру

3. Бетонды бір мезгілде айдай отырып бұрғылау құралын алу

3. Кранның көмегімен діріл тиегішпен армокаркасты батыру

1-сурет. Бұрғыланып толтырылған қаданы DDS инновациялық технологиясы арқылы орнату

Бұл технология диаметрі 0,6 м-ге дейінгі қадаларды 30 м тереңдікке дейін орнатуға мүмкіндік береді. Өнімділікті есептеу кезінде: қада диаметрін, қоса беріліп отырған айналу моментінің шамасын, басу күшін және топырақтың тығыздығы (топырақ беріктігі, топырақтың тығыздалуы, бетон сорғыштың қуаты) сияқты параметрлерді ескеру қажет.



2-сурет. DDS технологиясының бұрғылау шнегінің сипаттамасы

DDS технологиясы бойынша орнатылған бұрғыланып толтырылған қаданы статикалық сынау

Көтергіш қабілетінің нақты және жобалық мәндерінің арасындағы айырмашылықтарды анық көрсету үшін DDS қадаларына статикалық сынақтар жүргізілді. Екі құрылыс алаңында жалпылай алғанда саны 14 дана DDS технологиясы арқылы бұрғыланып толтырылған қадалар сыналды. Бірінші Хан-Шатыры құрылыс нысанында 11 қада сыналды, соның ішінде ұзындығы 18 м, диаметрі 410 мм 8 қада, ұзындығы 10 м және диаметрі 500 мм болатын 2 қада және де ұзындығы 18 м, диаметрі 600 мм 1 қада сыналды (1- кесте). Екінші «KGS» ЖШС -тің өндірістік базасы» құрылыс алаңында саны 3 бұрғыланып толтырылған қада сыналды, ұзындығы 2,5 м, диаметрі 500 мм.

Инженерлік-геологиялық ізденістерге сәйкес құрылыс алаңының геологиялық жағдайы: 2-ИГЭ (инженерлік-геологиялық элемент, ары қарай ИГЭ) – аллювиалды орташа төрттік шөгінді сазды топырақтардың кезектесетін араласуы түрінде кездеседі, 3-ИГЭ - сазды және сазды-құмды топырақтар, және де 4-ИГЭ - сазды және сазды шөгінділер түрінде ұсынылған орта төрттік шөгінділер орналасады [5].

Қадаға гидравликалық домкраты (маркалы СМЈ-158А) арқылы қадамы 400 кН және 200 кН максималды 2800 кН-ға дейін жүктеме жүртелді. Гидравликалық домкраттың күші сорғы станциясынан сұйықтықтың жеткізілуімен реттеледі және техникалық манометрмен қадағаланып отырды. Қадалардың жылжуы 0,01 мм дәлдік класы бар, жерге бекітілген қозғалмайтын реперлік жүйеде орнатылған прогибомермен өлшенді. Реперлік жүйе арқалықтар мен қадалар жүйесінің қозғалысынан тәуелсіз орналастырылды.

Қаданың жүктемесі 800 кН мен 400 кН қадам аралығында босатылды.

Қазақстан Республикасының «5.01-03-2002 Қадалы іргетастар» құрылыс нормалары мен ережелеріне сәйкес шөгуді қадағалау бойынша шектеулер мен регламенттері қабылданды [6,7].

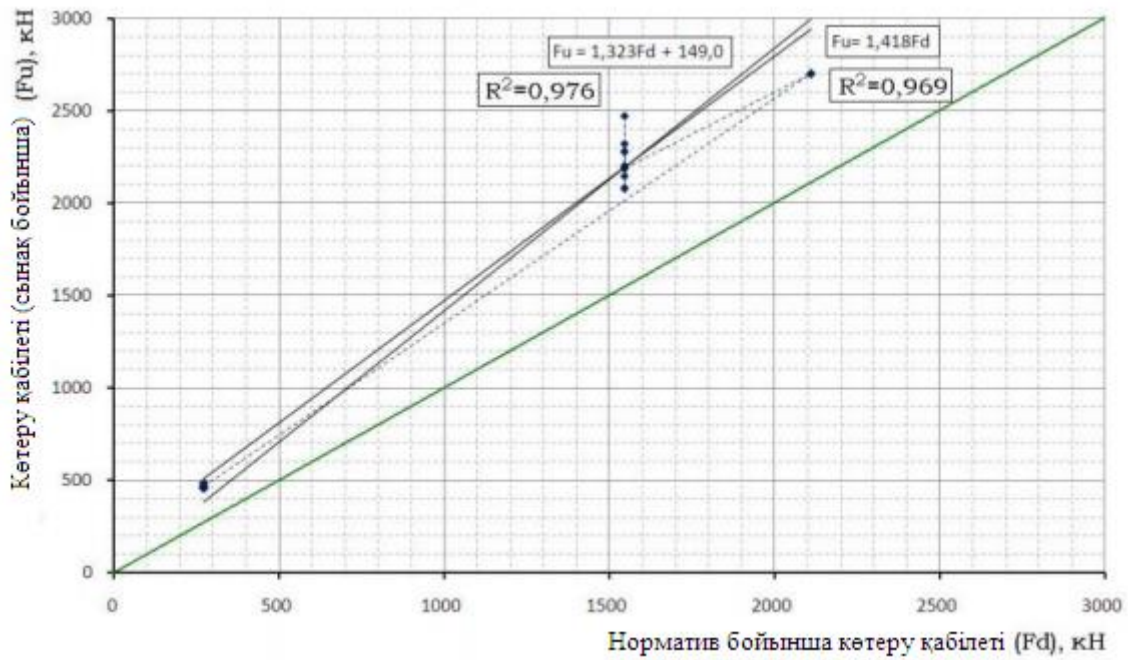
DDS қадасының есептік және эксперименттік көтергіш қабілеттерінің көрсеткіштерін салыстыру

DDS технологиясымен бұрғыланып толтырылған қаданың есептік және эксперименттік көтергіш қабілеттерінің көрсеткіштері 1-кестеде ұсынылған. Кестеде көрсетілгендей, есептік және эксперименттік көтергіш қабілеттерінің көрсеткіштері арасында елеулі айырмашылық бар.

DDS технологиясымен бұрғыланып толтырылған қаданың эксперименталды F_u және есептік F_d көтергіш қабілеттерінің салыстырмалы диаграммасы 2 - суретте көрсетілген. Салыстырмалы диаграммада көрсетілгендей, диагональдан жоғары орналасқан барлық нүктелер эксперименттік көтергіш қабілетінің көрсеткіштері, норматив бойынша анықталған көтергіш қабілеттерінің көрсеткіштерінен үлкен екендігін көрсетеді.

1-кесте. Көтергіш қабілетінің жеке көрсеткіштерін салыстыру

№	Қаданың геометриялық өлшемдері	Қада нөмірі	Көтеру қабілеті, кН		$k=F_u/F_d$ коэффициенті
			Эксперименттік F_u	Есептік F_d	
1	L=17 м d=410 мм	№1	2280	1545	1,48
2		№2	2150	1545	1,39
3		№3	2325	1545	1,50
4		№4	2475	1545	1,60
5		№5	2200	1545	1,42
6		№6	2080	1545	1,35
7		№7	2190	1545	1,42
8	L=17 м d=600 мм		2700	2110	1,28
9	L=2 м d=500 мм	№1	470	272	1,73
10		№2	490	272	1,80
11		№3	460	272	1,69



2-сурет. DDS технологиясы бойынша орнатылған бұрғыланып толтырылған қаданың эксперименттік F_u және есептік F_d көтеру қабілеттерін салыстыру [11].

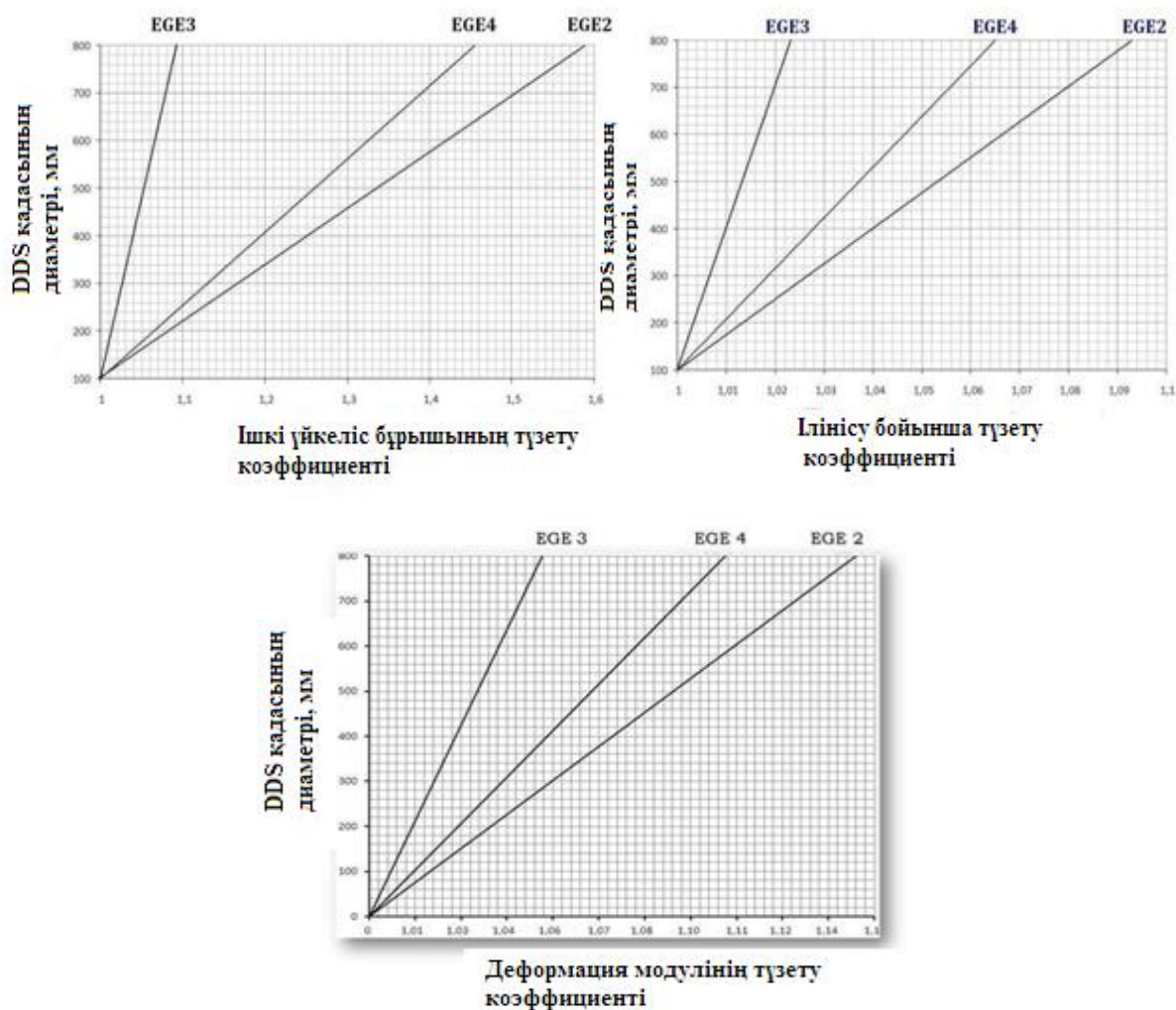
Қада айналасындағы топырақты лабораториялық зерттеу

Қада айналасындағы топырақ массивін зертханалық зерттеудің мақсаты - радиалды тығыздаудың топырақтың физика-механикалық қасиеттеріне әсерін анықтау болды. Топырақтың физика-механикалық қасиеттерін зерттеу үшін «Хан-Шатыры сауда-ойын-сауық орталығы» құрылыс алаңынан әртүрлі диаметрде қолданылған DDS технологиясы бойынша орнатылған бұрғыланып толтырылған қадаларды орнатқанға дейін және кейін топырақ үлгілері алынды. Зертханалық зерттеулерге арналған топырақ үлгілері қадалардың бүйір беті бойынша топырақтың тығыздалу аймағын анықтау мақсатында қадалардың шетінен 0,1, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 және 1 м дейінгі қашықтықта DDS қадаларына статикалық сынақтар жүргізгеннен кейін іріктелді. Тереңдігі 0,5 м аралықпен тереңдігі 10 м дейінгі 30-дан астам сынақ ұңғымасы бұрғыланды. Ұңғымалар арасындағы қашықтық қадалардан алыстығына байланысты 0,2-1,2 м құрады.

Зертханалық сынақтар МемСт (мемлекеттік стандарт) 12248-96 сәйкес жүргізілді [9].

Сынақ нәтижелері радиалды тығыздау аймағын анықтау, сондай-ақ кездейсоқ элементтерді (кездейсоқ мәндер) анықтау мақсатында статистикалық өңдеуге ұшырады, оның себебі топырақты бүлінбеген күйде алу күрделілігі немесе өлшеу құралдарының қателігі болуы мүмкін.

Сынақ нәтижелері бойынша 2-ИГЭ үшін радиалды тығыздау аймағы 0,6-0,8 м, ал 3-ИГЭ және 4-ИГЭ 0,4-0,6 м құрады. Деформация модулінің, ішкі үйкеліс бұрышының және ілінісу коэффициентінің алынған мәндері 3-суретте графикалық түрде көрсетілген. Номограммаларды қолдана отырып, деформация модулін, ішкі үйкеліс бұрышын және ілінісу коэффициентін жобалау сатысында DDS технологиясы бойынша орнатылған бұрғыланып толтырылған қадалардың диаметріне байланысты түзетуге болады [8].



3-сурет. Топырақ сипаттамаларын түзетуге арналған номограммалар [11].

DDS технологиясының экономикалық тиімділігі

DDS технологиясының экономикалық тиімділігін анықтау үшін Қазақстандық нормативтер мен зерттеу нәтижелері бойынша қадалар есебі жүргізілді. 2-кестеде қадаларға жобалық жүктемелерге сүйене отырып, нормативтер бойынша және ұсынылған әдістеме бойынша анықталған DDS қадаларының ұзындығы көрсетілген: №1 объект үшін 150 т, №2 объект үшін 25 т. Көріп отырғанымыздай, 1-объектіде қаданың көтергіштік қабілетін нормативтер бойынша анықтаған жағдайда қаданың талап етілетін Ұзындығы 18 м құрайды, ұсынылған әдістемені пайдалану кезінде қаданың ұзындығы 12 м дейін қыстарды. 2-объектіде нормативтер бойынша қаданың ұзындығы 2м, ұсынылған әдістеме бойынша 1,2 м.

3-кестеде DDS қадалар құрылғысының заманауи бағаларына негізделген экономикалық әсерді есептеу көрсетілген.

2-кесте. DDS технологиясы бойынша орнатылған бұрғыланып толтырылған қадаларының ұзындықтарын есептеу [11, 12].

Қадаларының ұзындықтары/ (Қаданың көтергіш қабілеті, кН)	
№1-нысан (d=410 мм)	№2-нысан (d=500 мм)

норматив бойынша	ұсынылған әдіс бойынша	норматив бойынша	ұсынылған әдіс бойынша
1545 кН/15 м	1556 кН/ 12 м	272 кН/ 2 м	274 кН/ 1,2 м

Бұл жағдайда біз DDS технологиясы бойынша орнатылған бұрғыланып толтырылған қадаларды өндірудің жалпы шығындарын 20-40% - ға қысқарта отырып, айтарлықтай экономикалық нәтижеге қол жеткіздік [13].

3-кесте. Экономикалық тиімділік

Параметрлер	1м ³ қада құрылысы-ның бағасы, USD	1м ³ қада материалының бағасы, USD	1 қадаға жұмсала-тын жалпы шығындар, USD	Шығын айырмасы, %
№1-нысан	300	100	3000	-
	300	100	2400	-
№2-нысан	300	100	630	-
	300	100	380	-
Экономикалық тиімділігі	№ 1-нысан		600 USD	20%
	№ 2-нысан		250 USD	40%

Қорытынды

1. Әр түрлі диаметрдегі DDS технологиясы бойынша орнатылған бұрғыланып толтырылған қадаларға статикалық сынақтар жүргізілді, олардың нәтижелері бойынша қадалардың эксперименттік және нормативтік көтергіш қабілеттеріне салыстырмалы талдау жүргізілді. DDS технологиясы бойынша орнатылған бұрғыланып толтырылған қадалардың көтеру қабілеттерінің эксперименттік мәндері орташа есеппен есептік мәндерден 1,5 есе көп, бұл өз кезегінде DDS технологиясының ресурстарының толық қолданылмағандығын көрсетеді.

2. Деформация модулінің, ілінісу мен ішкі үйкеліс бұрышының DDS технологиясы бойынша орнатылған бұрғыланып толтырылған қадаларының диаметріне тәуелділігін сипаттайтын номограммалар алынды. Параметрлерді түзетуді, зерттелген құрылыс нысандарының жағдайларына ұқсас инженерлік геологиялық жағдайларда диаметрі 410-дан 600 мм-ге дейінгі DDS технологиясы бойынша орнатылған бұрғыланып толтырылған қадаларды жобалау кезінде қолдануға болады.

Алынған радиалды тығыздау өлшемдері сандық модельдеуде қолданылды.

3. DDS технологиясы бойынша орнатылған бұрғыланып толтырылған қадаларды ң көтергіш қабілеттерін анықтаудың ұсынылған әдіс арқылы 20-40 % экономикалық тиімділігіне қол жеткізілді.

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Zhusupbekov A., Bazarbayev D., Matsumoto T. Analysis of the Static Test of Boring Piles Through FDP (Full Displacement Pile) Technology // Л. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің ХАБАРШЫСЫ. – Астана, Қазақстан, 2013. – Б. 4. – URL: <http://dspace.enu.kz/handle/data/9762>. (өтініш берген күні 14.06.2013). – электронды журнал
2. Basu P., Prezzi M., Basu D. Drilled Displacement Piles – Current Practice and Design // DFI Journal The Journal of the Deep Foundations Institute. Hawthorne, USA, 2010. – P. 3-20. – мақала
3. Rad S.H., Ghareh S., Eslami A. Experimental and field studies on the behavior of drilled displacement piles // Innovative Infrastructure Solutions 6, №188 – Springer Nature Switzerland, 2021. – P. 1-11. doi.org/10.1007/s41062-021-00557-2. – мақала
4. Султанов Г.А., Жусупбеков А.Ж., Лукпанов Р.Е., Енкебаев С.Б. Сравнение работы традиционной бурунабивной сваи с работой сваи устраиваемой методом раскатки по результатам численного моделирования // Материалы республиканской научно-практической конференции ЕНУ им. Л.Н.Гумилева. - Астана, Казахстан, 2010. – С. 219-226 – конференция еңбектері
5. Alibekova, N., Bukenbayeva D. About the engineering-geological conditions of Astana // Proc. 6th Asian Young Geotechnical Engineers Conf. - Bangalore, India, 2008. P. 188-192. – конференция еңбектері
6. СНиП РК 5.01-03-2002 Свайные фундаменты. М.: KAZGOR. 2003 – құрылыс нормалары мен ережелері
7. СН РК 5.01-01-2013 Основание и фундаменты. М.: Параграф. С. 23, 2021. - құрылыс нормалары мен ережелері
8. Султанов Г.А., Жусупбеков А.Ж., Лукпанов Р.Е., Енкебаев С.Б. Лабораторные исследования модуля деформации грунта вокруг сваи устраиваемой методом раскатки // Материалы республиканской научно-практической конференции ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. - Астана, Казахстан, 2010. – С. 214-219. - конференция еңбектері
9. ГОСТ 12248-96 Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М.: ИПК Издательство стандартов. С.5, 2005 – мемлекетаралық стандарт
10. Султанов Г.А., Жусупбеков А.Ж., Лукпанов Р.Е., Енкебаев С.Б. Определение зависимости между экспериментальными и расчетными значениями несущих способностей свай вытеснения // Материалы республиканской научно-практической конференции ЕНУ им. Л.Н.Гумилева. - Астана, Казахстан, 2010. С. 226-232 - конференция еңбектері
11. Жусупбеков А.Ж., Лукпанов Р.Е., Исина А.З., Алдунгарова А.К. Исследование взаимодействия грунтового массива со сваями вытеснения // Геомеханика және жаратылыстану пәндерін оқыту проблемалары атты халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция материалдары. С. 223-228 - конференция еңбектері
12. Zhussupbekov A., Iwasaki Y., Omarov A., Tanyrbergenova G., Akhazhanov S. (2019). Complex of static loading tests of bored piles. International Journal of GEOMATE, 2019, 16(58), pp. 8–13. – халықаралық журнал
13. Zhussupbekov A., Alibekova N., Akhazhanov S., Sarsembayeva A. (2021). Development of a unified geotechnical database and data processing on the example of Nur-Sultan City. Applied Sciences (Switzerland), 2021, 11(1), pp. 1–20, 306. – халықаралық журнал

А.Б. Исакулов¹, А.Ж. Жусупбеков², Б.Р. Исакулов³,
С.Б. Исакаков¹

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

²Национальный исследовательский университет «Московский государственный строительный университет», Москва, Российская Федерация

³Баишев Университет, Актобе, Казахстан

Исследование взаимодействия грунтового массива с буронабивными сваями, устраиваемыми по технологии DDS

Аннотация. В предлагаемой статье сравниваются показатели экспериментальной и расчетной несущей способности буронабивных свай, установленных с использованием технологии DDS по статическим испытаниям и нормативным расчетам. Также представлены результаты компрессионных испытаний образцов грунта вокруг размещенных свай по методу Drilled Displacement System (DDS). Установлена зависимость деформационных свойств грунта, таких как модуль деформации, угол внутреннего трения и сцепление, от диаметра буронабивной сваи. Коэффициент условий работы грунта боковой поверхности буронабивных свай, установленных с использованием технологии DDS, получен на основе результатов численного моделирования буронабивных свай, расположенных по традиционному и предлагаемому методу DDS. Описана инновационная технология DDS, пояснена работа бурового шнека при бурении и вытеснении грунта и показаны преимущества вышеназванной технологии и ее экономическая эффективность в целом.

Ключевые слова: сваи, статическое испытание, лабораторное испытание, несущая способность, буронабивные сваи.

A.B. Issakulov¹, A.Zh. Zhussupbekov², B.R. Issakulov³,
S.B. Iskakov¹

¹ L.N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

² National Research University "Moscow State University of Civil Engineering", Moscow, Russian Federation

³ Baishev University, Aktobe, Kazakhstan

Investigation of the interaction of a soil massif with bored piles arranged using DDS technology

Abstract. The article compares the indicators of experimental and calculated bearing capacity of bored piles installed using DDS technology, according to static tests and normative calculations. The article also presents results of compression tests of soil samples around the placed piles using the Drilled Displacement System (DDS) method. The authors established dependence of the deformation properties of the soil, such as the modulus of deformation, the angle of internal friction and adhesion, on the diameter of the bored pile. The coefficient of working conditions of the soil of the lateral surface of bored piles installed using DDS technology is obtained based on the results of numerical modeling of bored piles located according to the traditional and proposed DDS method. The article describes the innovative DDS technology, explanations of the operation of the drilling auger during drilling and displacement of soil, and in general, the advantages of the above-mentioned technology and its economic efficiency.

Keywords: piles, static testing, laboratory testing, bearing capacity, bored piles.

References

1. Zhussupbekov A., Bazarbayev D., Matsumoto T. Analysis of the Static Test of Boring Piles

Through FDP (Full Displacement Pile) Technology // L.N. Gumilev atyndagy Euraziya ылтык universitetinin HABARSHYSY. – Astana, Kazakstan, 2013. – B. 4. – URL: <http://dspace.enu.kz/handle/data/9762>. (Application date 14.06.2013) – electronic journal

2. Basu P., Prezzi M., Basu D. Drilled Displacement Piles – Current Practice and Design // DFI Journal The Journal of the Deep Foundations Institute. Hawthorne, USA, 2010. – P. 3-20. – article

3. Rad S.H., Ghareh S., Eslami A. Experimental and field studies on the behavior of drilled displacement piles // Innovative Infrastructure Solutions 6, №188 – Springer Nature Switzerland, 2021. – P. 1-11.doi.org/10.1007/s41062-021-00557-2. – article

4. Sultanov G.A., Zhusupbekov A.ZH., Lukpanov R.E., Enkebaev S.B. Sravnenie raboty tradicionnoj buronabivnoj svai s rabotoj svai ustraivaemoj metodom raskatki po rezul'tatam chislenного modelirovaniya // Materialy respublikanskoj nauchno-prakticheskoy konferencii ENU im. L.N.Gumileva. - Astana, Kazahstan, 2010. – С. 219-226. – Precedings of the conferences

5. Alibekova, N., Bukenbayeva D. About the engineering-geological conditions of Astana // Proc. 6th Asian Young Geotechnical Engineers Conf. - Bangalore, India, 2008. P. 188-192. – Precedings of the conferences

6. SNiP RK 5.01-03-2002 Svajnye fundamenty. M.: KAZGOR. 2003 – Building codes and regulations

7. SN RK 5.01.-01-2013 Osnovanie i fundamenty. M.: Paragraf. S. 23, 2021. - Building codes and regulations

8. Sultanov G.A., Zhusupbekov A.ZH., Lukpanov R.E., Enkebaev S.B. Laboratornye issledovaniya modulya deformacii grunta vokrugsvai ustraivaemoj metodom raskatki // Materialy respublikanskoj nauchno- prakticheskoy konferencii ENU im. L.N.Gumileva. - Astana, Kazahstan, 2010. – S. 214-219. - Precedings of the conferences

9. GOST 12248-96 Metody laboratorного opredeleniya harakteristik prochnosti i deformiruemosti. M.: IPK Izdatel'stvo standartov. S.5, 2005. – International standard

10. Sultanov G.A., Zhussupbekov A.ZH., Lukpanov R.E., Enkebaev S.B. Opredelenie zavisimosti mezhdru eksperimental'nymi i raschetnymi znacheniyami nesushchih sposobnostej svaj vytesneniya // Materialy respublikanskoj nauchno-prakticheskoy konferencii ENU im. L.N.Gumileva. - Astana, Kazahstan, 2010. S. 226-232. - Precedings of the conferences

11. Zhussupbekov A.ZH., Lukpanov R.E., Isina A.Z., Aldungarova A.K. Issledovanie vzaimodejstviya gruntovogo massiva so svayami vytesneniya // Geomekhanika zhane zharatylystanu panderin okytu problemalary atty halykaralyk gylymi-tazhiribelik konferenciya materialdary. S. 223-228. - Precedings of the conferences

12. Zhussupbekov A., Iwasaki, Y., Omarov, A., Tanyrbergenova G., Akhazhanov S. (2019). Complex of static loading tests of bored piles. International Journal of GEOMATE, 2019, 16(58), pp. 8–13. – International Journal

13. Zhussupbekov A., Alibekova N., Akhazhanov S., Sarsembayeva A. (2021). Development of a unified geotechnical database and data processing on the example of Nur-Sultan City. Applied Sciences (Switzerland), 2021, 11(1), pp. 1–20, 306. – International Journal.

Авторлар туралы мәлімет:

Исакулов А.Б. – Құрылыс кафедрасының докторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Жусупбеков А. Ж. – техника ғылымдарының докторы, профессор, Мәскеу мемлекеттік құрылыс университеті ұлттық зерттеу университетінің «Топырақтар механикасы және геотехника» кафедрасының консультанты, Мәскеу, Ресей Федерациясы.

Исакулов Б.Р. – техника ғылымдарының докторы, доцент, Баишев Университеті, Ақтөбе, Қазақстан.

Искаков С.Б. – Құрылыс кафедрасының докторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия

Ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Issakulov A. – Ph.D. student in Construction, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

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

Issakulov B. – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Baishev University, Aktobe, Kazakhstan.

Iskakov S. – Ph.D. student in Construction, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Г.Б.Толегенова^{1,2}, А.Б.Закирова², Ж.Б.Ахаева^{1,2}, Д.Б. Бердымуратов³,
А.Е. Сыздықов³

¹Астана Халықаралық университеті, Астана, Қазақстан

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

³В/ч 01068, Астана, Қазақстан

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

Машиналық оқытуға негізделген интеллектуалды электр жүйелері

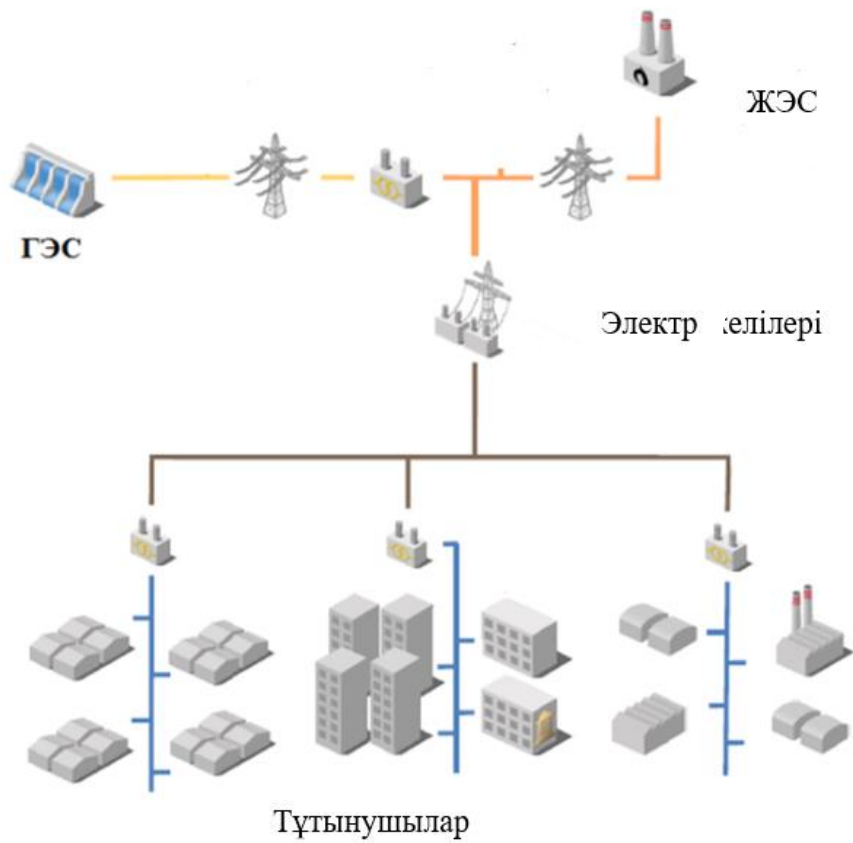
Аңдатпа. Халық саны мен экономиканың қарқынды өсуі электр энергиясына деген сұраныстың артуына алып келуде. Қолданыстағы энергетикалық жүйелер интеллектуалды желінің белсенді, икемді және ақылды аналогтарына қарқынды ауысуда, яғни, жаңартылған энергия көздерін біріктіру, киберкеңістіктің қауіпсіздігі, сұранысты басқару, жүйені жоспарлау және пайдалану туралы шешім қабылдау сияқты көптеген салаларда үлкен мәселелер туғызуда. Бүгінгі таңда цифрландыру, автоматтандыру және интеллектуализация жағдайында дәстүрлі энергетика өзгеруде, мысалы, «Машиналық оқыту» сияқты жаңа технологиялар пайда болуда. Бұл мақалада электр энергетикалық жүйелерде машиналық оқыту мүмкіндіктері қарастырылады. Ақылды желі, заттар интернеті және машиналық оқыту элементтерінің өзара байланысы және өзара әрекеттесуі түсіндіріледі. Интеллектуалды желінің техникалық мәселелерін шешуде машиналық оқыту әдістері және олардың айырмашылықтары көрсетеді.

Түйін сөздер: ақылды желі, машиналық оқыту, заттар интернеті, электр желісі, кластерлеу, регрессия.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-30-37

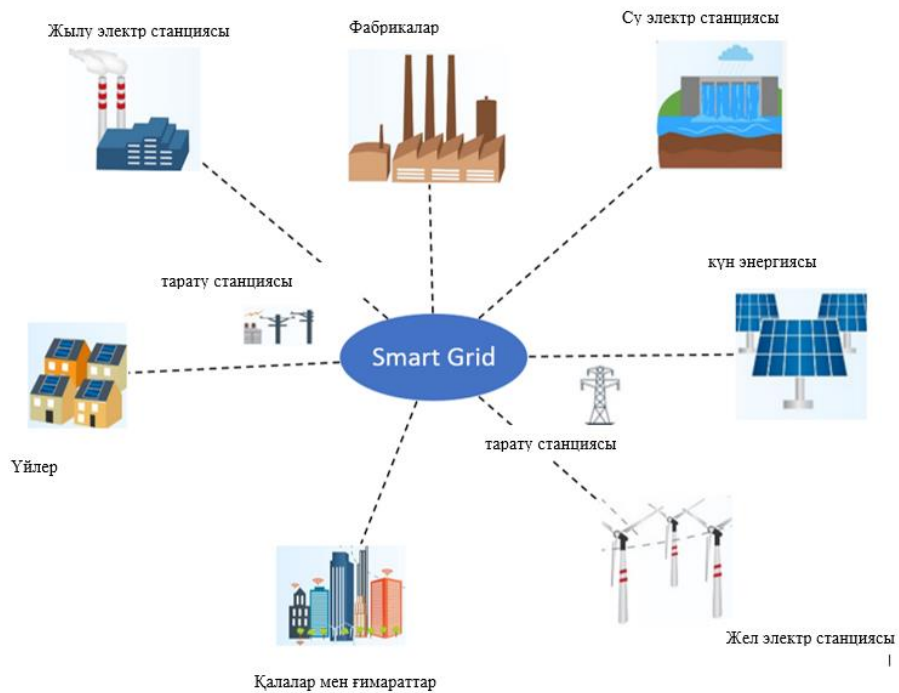
Кіріспе

Халық саны мен экономиканың қарқынды өсуі электр энергиясына деген сұраныстың артуына алып келуде, сондықтан да, соңғы онжылдықта электр энергетикасы жүйелері дәстүрлі энергия жүйелерінен, дамудың келесі буыны, интеллектуалды желілерінің тиімді жүйесіне көшуде. Қарапайым электр желісінің сұлбалық бейнесі 1 -суретте көрсетілген. Дәстүрлі электр жүйелері электр энергиясын өндірудің бірнеше орталықтандырылған және ірі көздеріне, негізінен гидроэлектр станцияларына немесе қазбалы отындағы электр энергиясын өндіру жүйелеріне, электр энергиясын тарату жүйесі арқылы тұтынушыларға жеткізетін үлкен тарату желісіне негізделген. Қарапайым энергия жүйелері бір бағытты энергия мен байланыс ағынына байланысты болғандықтан пассивті болып келеді, бірақ ақылды желілер ортасында әр таратылған және жаңартылатын энергия ресурстарын біріктіру және пайдалану оларды екі жақты энергия мен ақпарат ағынының арқасында белсенді желіге айналдырады[1].



Сурет 1. Дәстүрлі электр желілері

2 суретте ақылды желі (smart grid) негізгі құрылымы көрсетілген.



Сурет 2. Ақылды желі (Smart grid)

Бұл екі бағытты энергия мен байланыс ағыны энергия жүйелерінің сенімділігін, қауіпсіздігін және тиімділігін арттыра алады [2]. Сондықтанда, ақылды желі «Болашақ энергия» жүйесі деп те аталады. Қарапайым электр жүйесімен салыстырғанда интеллектуалды желінің негізі болып көптеген операцияларды жүргізуге мүмкіндік беретін және белгілі бір жолмен байланысты орындау үшін командалар мен ақпарат алмасуға қабілетті құрылғылар табылады.

Интернет желісінің арқасында кең байланыстың құрылуы және барлық құрылғылар тиісті желілерге қосыла алатындай мүмкіндіктерге ие болуда. Интернетке қосылған құрылғылар қазіргі уақытта күнделікті өмірдің ажырамас бөлігі болып табылады, ал күн сайын осындай құрылғылардың көптеген түрлері пайда болуда. Интернетті физикалық түрде басқа жерде орналасқан ресурстарға қосылу және алынған алмасу арқылы өз міндеттерін орындау үшін пайдаланатын құрылғылар «заттар интернеті (IoT) құрылғылары» деп аталады[3]. Заттар интернетін мұндай құрылғыларды байланыстыратын және адамның араласуынсыз деректерді беруді жеңілдететін өзара байланысты жүйе ретінде анықтауға болады. Заттар интернеті медициналық жабдықтар, ақылды көлік құралдары, ақылды желілер, ақылды үйлер және ақылды қалалар сияқты технологияларды қамтиды, бірақ олармен шектеліп қана қоймайды. Заттар интернеті қосымшалары көптеген артықшылықтарға ие. Бұл құрылғыларды қосу процесіне адамның араласуын азайтуы мүмкін болғанымен де, ең маңызды және күшті әсерлерді энергетикалық секторда, үй шаруашылықтарында және ақылды қалаларда байқауға болады. Заттар интернеті-бұл ақылды желілердің өнімділігі мен басқарылуын жақсартатын перспективті технологиялардың бірі. Тасымалдау және тарату тиімділігін арттыруға және жаңартылатын қуаттарды IoT негізіндегі желілерде тиімдірек пайдалануға болады. IoT құрылғыларын желілік инфрақұрылымға біріктіру және енгізу болашақ ақылды желіге бағытталған маңызды қадам болып табылады. Ақылды есептегіштер нақты уақыт режимінде энергияны тұтынуды өлшеп қана қоймай, тұтынушыларға энергиямен жабдықтаушы ұйымдармен өзара әрекеттесуге және екі жақты байланыс арқылы сұранысты басқарудың кеңейтілген операцияларын жүргізуге мүмкіндік береді. Соңғы онжылдықта зияткерлік есептегіштер кеңінен таралды және көптеген елдерде, мысалы, Қытайда, Испанияда, АҚШ-та және Францияда электр желілерінің алдыңғы қатарлы өлшеу инфрақұрылымына (AMI) біріктірілді. IoT электр желісінің барлық негізгі ішкі жүйелерінде, яғни өндіруде, беру, тарату және пайдалануда интеллектуалды желіге біріктірілуі мүмкін[4]. Заттар интернетін интеллектуалды желіге біріктіру зияткерлік желілерді басқаруда, мысалы, маңызды жедел ақпаратты уақтылы жеткізу, далалық деректердің үлкен көлемін тиімді өңдеу және киберкеңістіктегі қауіпсіздік мәселелерінде қосымша қиындықтар туғызады. Бұл проблемаларды векторлық бірліктерді, озық аналитикалық құралдарды және машиналық оқытуға негізделген шешімдерді орналастыру сияқты алдыңғы қатарлы технологиялар арқылы шешу қажет.

Бұл дәстүрлі энергия жүйелерінің интеллектуалды энергия жүйелеріне ауысуы электр жүйесін фотоэлектрлік (PV), жел энергиясы және электромобильдер (EV) сияқты көптеген таратылған жүйелерімен (DG) қамтамасыз етті. Басқаша айтқанда, интеллектуалды желі - бұл әдеттегі электр жүйесін неғұрлым ақылды және тиімді ететін процестерді, технологияларды, таратылған және жаңартылатын генерациялау жүйелерін біріктіру [5]. Әр түрлі таратылған жүйелер интеграциясы көптеген қиындықтар туғызуда, мысалы, жүктемені болжау, сәтсіздік пен сәтсіздікті талдау, сұраныс жағын басқару, жүктемелерді кедергісіз бақылау (NILM), киберкеңістіктің қауіпсіздігі, электр қуатын ұрлауды анықтау және т.б. Үздіксіз және тұрақты ток жүйелерінің үнемі өсіп келе жатқан таралуы және тиісті технологиялық жетістіктер жоғарыда аталған проблемаларға қарсы нақты және сенімді шараларды қажет етеді.

Машиналық оқыту технологиясы

Машиналық оқыту-бұл компьютерлерді оқу процесінде адамдар мен жануарлардың міндеттеріне ұқсас тапсырмаларды орындауды үйретуге бағытталған деректерді талдау әдісі. Машиналарды оқыту алгоритмдері алдын-ала анықталған теңдеулерге сүйенбестен ақпаратты

тікелей деректерден алу үшін есептеу әдістерін қолданады және деректердің қол жетімділігін арттырумен қатар олардың жұмысын бейімдей алады. Шын мәнінде, Машиналық оқыту шешімдер мен болжамдарды қамтамасыз ету үшін әртүрлі алгоритмдерді қолданатын нұсқаулар жиынтығын қолдана отырып, деректерді талдауды жүзеге асырады. Машиналарды оқыту әр түрлі функцияларды, мысалы, жіктеу, кластерлеу және регрессияны жүзеге асыру үшін алгоритмдерді мұқият жобалауды және бағдарламалауды қажет етеді[6]. Соңғы онжылдықта Машиналық оқыту және тереңдетіп оқыту мамандандырылған технологиялар ретінде көптеген ғылыми-зерттеу және инженерлік салаларға үлес қосты, мысалы, деректерді іздеу, медициналық визуализация, байланыс, мультимедиа, гео-ғылым, қашықтықтан зондау классификациясы, нысандарды бақылау нақты уақыт, компьютерлік көру негізінде ақаулықтарды анықтау және т.б. озық ақпараттық және коммуникациялық технологияларды, атап айтқанда заттар интернетін электр желілерінің құрылымына интеграциялау «Ақылды желілерді» құру жолындағы негізгі қадамдардың бірі болып табылады. Себебі Интернет құрылғылардың негізгі қабілеті-бұл деректерді бөлісу және басқа құрылғыларға деректерді кеңінен жіберу мүмкіндігі, сондықтан, басқару орталықтарында көптеген мәліметтер қол жетімді болады. Жүйенің күйі мен деректердің қол жетімділігі туралы хабардарлықты жақсарту жүйені жедел басқаруға және шешім қабылдауға ықпал ететін деректерді тиімді өңдеу және талдау үшін машиналық оқыту негізіндегі шешімдер мен құралдарды қажет етеді.

«Ақылды желі» ұғымы негізгі ақпараттық-коммуникациялық жүйесі бар үлкен электр желісін қамтитын күрделі киберфизикалық жүйе ретінде пайда болды[7]. Нақты уақыттағы жұмыс жағдайын бақылау және деректерді тиімді талдау көптеген аспектілер бойынша жүйені басқаруды едәуір жақсарты алады, мысалы, жүйелік активтерді бағалау, пайдалану қауіпсіздігін қамтамасыз ету, жүйелік ауытқуларды анықтау, ақауларды диагностикалау, электр қуатын жүктеу және өндіруді басқару және т.б. Кәдімгі есептеу әдістері енді ақылды желілер енгізген мәліметтердің үлкен көлемін тиімді басқара алмайтындығын мойындауға сүйене отырып, соңғы бірнеше жыл ішінде Машиналық оқыту әдістеріне көп көңіл бөлінді. Интеллектуалды желілерді қолданудың әртүрлі салаларындағы мәселелерді шешу үшін машиналық оқыту мен терең білімге негізделген әртүрлі шешімдерді зерттеу үшін көптеген зерттеу жұмыстары жүргізілді. Машиналарды оқыту әдістері деректерге негізделген, өйткені олар әртүрлі тапсырмаларды орындау үшін қол жетімді деректерді пайдаланады. Оларды төменде көрсетілгендей төрт негізгі түрге бөлуге болады:

1. Бақыланатын оқыту - мақсаты көптеген оқу үлгілері бар оқу жинағындағы кіріс/шығыс жұптарының берілген таңбаланған жиыны негізінде кірістер мен шығыстар арасындағы салыстыруды үйрену болып табылатын машиналық оқыту класы.

2. Бақылаусыз оқыту-бұл алгоритмді оқыту белгіленбеген және жіктелмеген ақпаратты қолдана отырып жүзеге асырылатын Машиналық оқыту парадигмасы, сондықтан алгоритм ақпаратты ұқсастық немесе айырмашылық негізінде топтастыра алады. Бақыланбайтын оқыту алгоритмдері бақыланатын оқытуға қарағанда күрделі өңдеу тапсырмаларын орындай алады, бірақ басқа табиғи оқыту әдістерімен салыстырғанда болжау мүмкін емес. Бақылаусыз оқытудың ең көп таралған әдісі-кластерлік талдау, ол жасырын заңдылықтарды табу немесе деректерді топтастыру мақсатында деректерді іздеу үшін қолданылады.

3. Нығайтумен оқыту - мұнда агент қоршаған ортамен өзара әрекеттесіп, оның әрекеттеріне жауап ретінде алынған ынталандыру негізінде өз әрекеттерін өзгертеді. Нығайтып оқыту автоматтандырылған оқытудан ерекшеленеді, ол белгіленген енгізу/шығару жұптарын қажет етпейді, оның орнына агент қоршаған ортадағы әрекеттеріне жауап ретінде марапатталады немесе жазаланады. Осылайша, нығайтып оқыту агентке бақыланатын немесе бақыланбайтын оқыту арқылы қол жеткізуге болмайтын мінез-құлықты автоматты түрде анықтауға мүмкіндік береді.

4. Ансамбль әдістері-бұл бір алгоритмді қолданумен салыстырғанда өнімділікті арттыру үшін бірнеше машиналық оқыту алгоритмдерін қолданатын алгоритмдер. Ансамбль әдісінде оқу

бірнеше негізгі оқушылар жасаған гипотезалар жиынтығын құрады, олар бір мәселені шешу үшін бірге қолданылады, яғни, жеке негізгі оқушыларға қарағанда жақсы жалпылауды қамтамасыз етеді[8].

Бірқатар техникалық проблемалар жаңартылатын және үзіліссіз таратылған генерация жүйелерінің әртүрлі формаларының енуінен, әртүрлі желілік нысандар арасындағы кең және сенімді байланыстан туындады. Атап айтқанда, проблемалар электр желілерінің бүкіл желісі бойынша жинақталатын әртүрлі сипаттағы деректердің өсіп келе жатқан көлемін, осыдан туындайтын деректерді сақтау және өңдеу қажеттілігін, өзгермелі кеңістік-уақыт сипаттамалары бар қатты сызықты емес энергия жүйелерін басқару қажеттілігін, жиілік пен кернеудің тұрақтылығына қойылатын қатаң талаптарды, қажеттілікті қамтуы мүмкін. қуат желісін киберқауіптерден қорғау және т.б. Электр жүйелерінде қолданылатын есептеу мен басқарудың дәстүрлі әдістері бұдан былай деректердің үлкен көлемін өңдеу мен талдаудағы шектеулерге, дәстүрлі модельдердің шектеулі жалпылануына, автономды операциялар мен нақты уақыттағы өңдеудің жеткіліксіздігіне, орталықтандырылған басқару стратегиясына жоғары тәуелділікке байланысты жоғарыда аталған мәселелерді шешуге жарамсыз болып табылады. Дәстүрлі есептеу әдістерінің жеткіліксіздігі мен шектеулері ақылды желілердің әртүрлі мәселелерін шешу үшін машиналық оқыту әдістерін қолдануға түрткі болады. Машинамен басқарылатын ақылды желілердің функционалдығы тұтынушылардың мінез-құлқын болжау, жаңартылатын энергия жүйелерін болжау, сұранысты басқару (DSM), энергия мен экономиканы диспетчерлеу, ақауларды болжау сияқты интеллектуалды желілердің маңызды аспектілерінің бірі болып табылатын киберкеңістіктегі қауіпсіздікке дейін болуы мүмкін. 1-кестеде электр жүйелеріндегі проблемалар, дәстүрлі әдістердің шектеулері, сондай-ақ электр жүйелерінің проблемаларын шешу үшін машиналық оқытуға негізделген әдістерді қолданудың негізгі артықшылықтары мен айырмашылықтары келтірілген.

Кесте-1. Машиналық оқытуға негізделген әдістер

Қазіргі құбылыстар	Туындайтын мәселелер	Қолданыстағы шешімдерді шектеу	Машиналық оқыту әдістерінің артықшылықтары
<ul style="list-style-type: none"> • Жаңартылатын энергетика жүйелерін кеңінен енгізу • Ғасырлық желілік инфрақұрылым • Әр түрлі энергия көздерінің шығуы арасындағы кеңістіктік-уақыттық айырмашылық • Икемді, екі бағытты, белсенді энергетикалық желіге көшу 	<ul style="list-style-type: none"> • Деректердің өзгергіштігі • Сызықтық емес жүйелерді басқару • Операциялық белгісіздік • Сұраныстың өзгеруіне байланысты жоғары байланысқан электр желісі • Киберқауіптер • Кернеу мен жиілікті реттеу 	<ul style="list-style-type: none"> • Деректердің үлкен көлемін өңдеу мүмкін емес • Белгісіздікке жеткіліксіз қарсылық • Шектеулер болған кезде оңтайландырудың болмауы • Адаптивті және автономды операциялардың болмауы • Ақылға қонымды шешім қабылдаудың болмауы 	<ul style="list-style-type: none"> • Нысандарды таңдау және нысандарды алу мүмкіндігі • Автономды, бейімделгіш және ақылды операциялар және шешім қабылдау • Операцияларды нақты уақыт режимінде және / немесе нақты уақыт режимінде орындай алады • Сызықты емес жүйелермен тиімді жұмыс істей алады • Күрделі жүйелерді модельдеу

		<ul style="list-style-type: none"> • Нақты уақыт режимінде өңдеу жоқ • Күрделі жүйелерді модельдеу мүмкіндігінің болмауы • Сызықты емес жүйелермен жұмыс істей алмайды 	
--	--	---	--

Электр жүйелеріндегі машиналық оқыту:

- электр желілеріндегі авариялық жағдайларды болжау және алдын алуға
- осы параметрлер туралы деректер базасын толтыра отырып, нақты уақыт режимінде энергия жүйесінің параметрлерін тұрақты бақылауды қамтамасыз етуге
- электр желілеріндегі ақаулықтарды анықтауды жеңілдетуге
- оңтайлы энергия бөлу балансын қамтамасыз етуге
- жүйе серверлеріне және электрмен жабдықтауды басқаруға кибершабуылдардың қауіпті салдарын болдырмауға
- электр энергиясын ұрлау жағдайларын анықтауға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Машиналық оқыту қазіргі заманғы технологиялардың бір бөлігі болып келеді, өйткені барлық деректер талдауды қажет етеді. Осыған байланысты қазірдің өзінде біз айтып өткен осы салада үлкен практикалық жетістіктер бар. Машиналық оқытудың мүмкіндіктері мен ауқымы қорқынышты болуы мүмкін, бірақ бұл маңызды және күрделі сұрақтарға жауап табуға мүмкіндік беретін жалғыз құрал екенін білу керек. Әрине, бұл технологияның артында инновациялық құралдарды құрудың және бүкіл әлемдегі адамдардың өмірін жақсартудың үлкен перспективалары бар. Енді машиналық оқыту өз жолының басында деп айтуға болады. Оның қандай жаңалықтар әкелетіні және машиналық оқытуды тиімді қолдана алмайтын шекара қайда болатыны туралы әлі белгісіз.

Әдебиеттер тізімі

1. Kong W., Dong Z.Y., Jia Y., Hill D.J., Xu Y., Zhang Y. Short-term residential load forecasting based on lstm recurrent neural network//IEEE Trans Smart Grid-2017.-Vol.10(1)-p.841–51.
2. Hossain E., Khan I., Un-Noor F., Sikander S.S., Sunny M.SH. Application of big data and machine learning in smart grid, and associated security concerns: A review// IEEE Access -2019.-Vol. 7. – p. 13960- 13988.
3. Щербинина М.Ю., Стефанова Н.А. Концепция интернет вещей // Креативная экономика. — 2016. — Т. 10. — № 11. — С. 1323–1336.
4. Basit A., Sidhu GAS, Mahmood A., Gao F. Efficient and autonomous energy management techniques for the future smart homes//IEEE Trans Smart Grid -2015.-Vol. 8.- Iss. 2.-p. 917- 926.
5. Gharavi H., Ghafurian R. Smart grid: The electric energy system of the future // Proceedings of the IEEE-2011.- vol. 99.-p. 917-921.
6. Линейная регрессия // Wikipedia, free encyclopaedia. URL:

http://en.wikipedia.org/wiki/Linear_regression/ (Дата обращения 30.03.2022).

7. Basumallik S., Ma R., Eftekharnejad S. Packet-data anomaly detection in pmu-based state estimator using convolutional neural network//Int J Electr Power Energy Syst -2019-Vol. 107- p.690–702.

8. Массель Л.В., Гергет О.М., Массель А.Г., Мамедов Т.Г. Использование машинного обучения в ситуационном управлении применительно к задачам электроэнергетики// Информационные и математические технологии в науке и управлении – 2019 - №3(15). С.5-17.

**Г.Б.Толегенова^{1,2}, А.Б.Закирова², Ж.Б.Ахаева^{1,2}, Д.Б. Бердымуратов³,
А.Е. Сыздықов³**

²Международный университет Астана, Астана, Казахстан

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

³Ә/б 01068, Астана, Қазақстан

Интеллектуальные электрические системы, основанные на машинном обучении

Аннотация. Стремительный рост населения и экономики приводит к увеличению спроса на электроэнергию. Существующие энергетические системы интенсивно переходят на активные, гибкие и умные аналоги интеллектуальной сети, что создает большие проблемы во многих областях, таких как интеграция возобновляемых источников энергии, безопасность киберпространства, управление спросом, планирование и принятие решений об использовании системы. Сегодня в условиях цифровизации, автоматизации и интеллектуализации меняется традиционная энергетика, появляются новые технологии, например, «машинное обучение». В данной статье рассматриваются возможности машинного обучения в электроэнергетических системах. Объясняются взаимосвязь и взаимодействие элементов умной сети, интернета вещей и машинного обучения. Показаны методы машинного обучения и их отличия при решении технических задач интеллектуальной сети.

Ключевые слова: интеллектуальная сеть, машинное обучение, интернет вещей, электрическая сеть, кластеризация, регрессия.

**G.B.Tolegenova^{1,2}, A.B.Zakirova², Zh.B. Akhayeva^{1,2}, D. Berdymuratov³,
A. Syzdykov³**

¹Astana International University, Astana, Kazakhstan

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

³M/u 01068, Astana, Kazakhstan

Machine learning driven smart electric power systems

Abstract. The rapid growth of the population and economy leads to an increase in demand for electricity. Existing energy systems are intensively switching to active, flexible, and smart analogs of the smart grid, which creates big problems in many areas, such as the integration of renewable energy sources, cyberspace security, demand management, planning, and decision-making about the use of the system. Today, in the conditions of digitalization, automation, and intellectualization, traditional energy is changing, and new technologies are emerging, for example, «machine learning». This article discusses the possibilities of machine learning in electric power systems. The article describes the interrelation and interaction of elements of the smart network, the Internet of Things, and machine learning. The article presents methods of machine learning and their differences in solving technical problems of an intelligent network.

Keywords: intelligent network, machine learning, Internet of things, electrical network, clustering, regression.

References

1. Kong W., Dong Z.Y., Jia Y., Hill D.J., Xu Y., Zhang Y. Short-term residential load forecasting based on lstm recurrent neural network//IEEE Trans Smart Grid-2017.-Vol.10(1)-p.841–51.
2. Hossain E., Khan I., Un-Noor F., Sikander S.S., Sunny M.SH. Application of big data and machine learning in smart grid, and associated security concerns: A review// IEEE Access-2019.-Vol. 7.-p. 13960-13988.
3. Shcherbinina M.Yu., Stefanova N.A. Konceptsiya internet veshchej//Kreativnaya ekonomika. – 2016. – Т. 10. – № 11. – С. 1323–1336.
4. Basit A., Sidhu GAS., Mahmood A., Gao F. Efficient and autonomous energy management techniques for the future smart homes// IEEE Trans Smart Grid-2015.-Vol. 8. Iss. 2 – p. 917-926.
5. Gharavi H., Ghafurian R. Smart grid: The electric energy system of the future//Proceedings of the IEEE-2011. - vol. 99 - p. 917-921.
6. Linejnaya regressiya // Wikipedia, free encyclopaedia. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Linear_regression/ (Accessed: 30.03.2022)
7. Basumallik S., Eftekharnejad Ma.R., Packet S. - data anomaly detection in pmu-based state estimator using convolutional neural network // Int J Electr Power Energy Syst-2019-Vol. 107-p.690–702.
8. Massel L.V., Gerget O.M., Massel A.G., Mamedov T.G. Ispol'zovanie mashinnogo obucheniya v situacionnom upravlenii primenitel'no k zadacham elektroenergetiki // Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii. - 2019. - №3(15). С.5-17.

Авторлар туралы мәлімет:

Толегенова Г.Б. – Астана Халықаралық университетінің 2 курс докторанты, Астана, Қазақстан.

Ахаева Ж.Б. – Астана Халықаралық университетінің 2 курс докторанты, Астана, Қазақстан.

Закирова А.Б. – педагогика ғылымдарының кандидаты, Информатика кафедрасының доценті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Бердымуратов Д.Б. – 01068 ә/б, Астана, Қазақстан.

Сыздыков А.Е. – 01068 ә/б, Астана, Қазақстан.

Tolegenova G.B. – The 2nd year Ph.D. student at Astana International University, Astana, Kazakhstan

Akhayeva Zh.B. – The 2nd year Ph.D. student at Astana International University, Astana, Kazakhstan

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

Berdymuratov D.B. – m/u 01068, Астана, Қазақстан.

Syzdykov A.Ye. – m/u 01068, Астана, Қазақстан.

Инновациялық жөндеу жиынтығын қолдану саласына сараптама

Аңдатпа. Автомобиль көлігінің жылжымалы құрамы паркінің өсуі жол қауіпсіздігін қамтамасыз етуге қойылатын талаптарды арттырады, ол айтарлықтай дәрежеде пайдалану сенімділігімен және жүріс бөлігінің тораптары мен тетіктерінің техникалық жай-күйімен айқындалады.

Көптеген елдерде жөндеу жиынтықтары негізінде автотранспорттық техника мен технологиялық жабдықтың сапасын, сенімділігін және ұзақ мерзімділігін арттыру, сондай-ақ пайдалану беріктігін арттыруға мүмкіндік беретін жаңа триботехникалық әдістерді пайдалана отырып дайындау және құрастыру технологияларының мәселелеріне байланысты ауқымды зерттеулер жүргізілуде.

Айналмалы қозғалысқа арналған инновациялық жөндеу жиынтықтарын теміржол, автомобиль көлігінде, аспалы түйіндерде, амортизаторлар мен гидравликалық цилиндрлерде, рульде, кардандық берілістерде, әуе кемелерінің мойынтіректерінде, электр контакторларында, тігін, тау-кен, мұнай-газ өндіру және өңдеу өндірістерінде және басқа да дәстүрлі сырғанау және жылжымалы подшипниктерде қолданылатын жерлерде өзара айналдыру режимінде үлкен жүктемелер кезінде пайдалануға болады.

Түйін сөздер: храповик эффектісі, серіппелі қосымша бет, сырғанау мойынтіректері, жөндеу жиынтығы, жөндеу жиынтығы.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-38-46

Кіріспе

Бұл жұмыста тұрақтандыру режимнің және тозудың біркелкілігінің нәтижесі біліктің немесе сыртқы сақинаның өзара айналу қозғалысы кезінде қол жеткізілуі, серіппелі төсеніштің бұралуы мен бұралуына байланысты тежеу, сәйкесінше серіппелі төсеніштің ішкі немесе сыртқы бетінде пайда болуы («храповик эффектісі») серіппелі орамның бағытына байланысты тек бір бағытта мәжбүрлі түрде бұрылады. Жұмыс барысында жұмыс беттеріндегі байланыс сызығы өзгереді, бұл олардың тозуының төмендеуіне әкеледі.

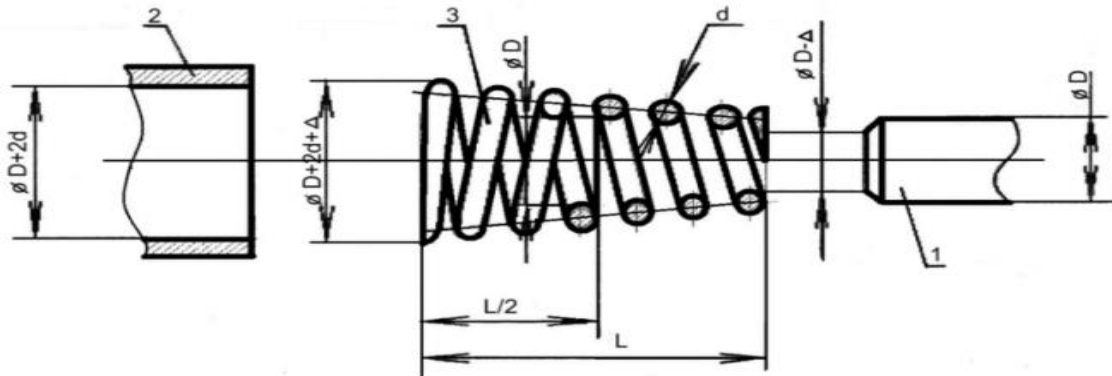
Пайдалану сипаттамаларын жоғарылату міндетіне серпімді аралық элементті подшипникке енгізу арқылы қол жеткізіледі - цилиндрлік серіппе түріндегі жылжымалы төсеніш, оның қысу күшін реттеу арқылы жұмыс беттерінде тотығу процестерін шектеу және микропластикалық деформация арқылы беттің активтенуінің пайда болуы үшін қажетті тығыздау жасалады. Қалыпты тотықтырғыш үйкеліс (ҚТҮ), жекелеген тасымалдау (ЖТ) механизмдерін және үйкеліс өткізгіштігінің құбылысын (ҮӨҚ) зерттеу тәжірибесінен мойынтіректердегі төзімсіздік әсерінің тұрақтылығын арттырудың бірлесіп әрекет ететін екі шарты туындайды:

1. Жұмыс беттерін пластикалық деформациямен белсендіру.
 2. Мойынтіректердің жұмыс беттеріндегі тотығу процестерін басу (шектеу).
- Дәстүрлі мойынтіректерде бұл шарттар орындалмайды.

Әдістеме

Осы шарттарды сақтау үшін, шарттарды орындауға болатын айналмалы қозғалыс үшін

инновациялық жөндеу жиынтығының дизайны ұсынылды [1, 2, 3, 4, 5]. Осы мақсатта подшипник бұрандалы цилиндрлік серіппе (аралық элемент) түрінде жылжымалы ішпекпен жабдықталған, ол тербелмелі режимде тек бір бағытта мәжбүрлі түрде айналады және осылайша тозу мен майлаудың біркелкілігіне қол жеткізеді. Микропластикалық деформацияларға қол жеткізу үшін қажетті серіппенің кернеуі оны қысу арқылы жасалады. Тербелмелі режимде серіппелі төсеніштің бұралуы немесе бұралуы салдарынан ішкі немесе сыртқы бетінде серпімді кернеу пайда болады және ол бір бағытта мәжбүрлі түрде бұрылады (храповка эффектісі). Ұсынылған дизайндағы тотығу процестерін басу майлы тығыздағышпен оңай қол жеткізіледі. Оң нәтиже сонымен қатар үйкелістің адгезиялық компонентін (демалу үйкелісі) азайту және Н.Е. Жуковскийдің "үйкеліссіз қозғалыс туралы" идеяларын ішінара жүзеге асыру (аралық тіректі айналдыру) арқылы сыртқы энергия көзін пайдаланбай алынады. Ұқсас жөндеу жиынтығы (1 - сурет) инелі мойынтіректерінің орнына гимбальды мойынтіректерді, аспа блоктарын, рульдік ілмектерді және өзара айналмалы режимде жұмыс істейтін басқа да түйіндерді кеңінен қолдануға болады.



Сурет 1. Жылжымалы серіппелі ішпегі бар жөндеу жиынтығының сұлбасы

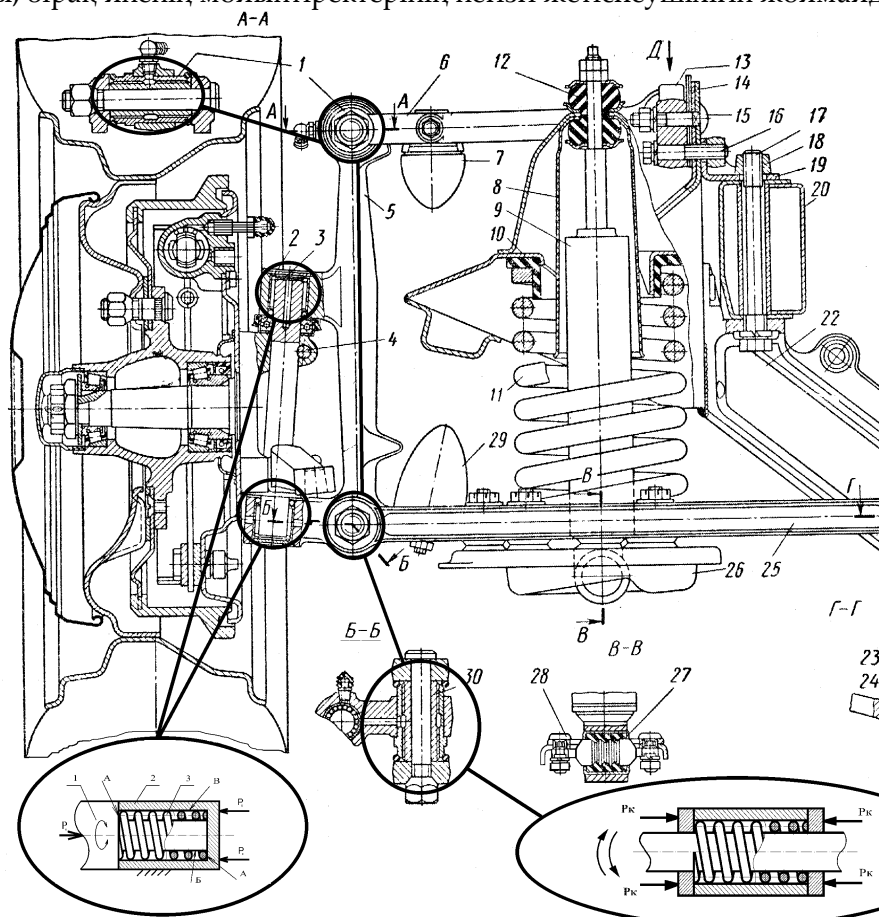
Талқылау

Авторлар тобы жасаған құрылғыда 1- сурет пайдалану сипаттамаларын жоғарылату міндетіне мойынтірекке серпімді аралық элементті - цилиндрлік серіппе түріндегі жылжымалы ішпекті енгізу арқылы қол жеткізіледі, оны қысу күшін реттеу арқылы жұмыс беттерінде тотығу процестерін шектеу және микропластикалық деформация арқылы беттің активтенуінің пайда болуы үшін қажетті тығыздау жасалады. Режимді тұрақтандыруға және тозудың біркелкілігіне біліктің немесе сыртқы сақинаның өзара айналмалы қозғалысы кезінде серіппелі ішпекті бұрау немесе бұрау арқылы сәйкесінше ішкі немесе сыртқы беттерде тежеу пайда болады, ал серіппелі төсеніш (пайда болған "храповик эффектінің" арқасында) орамның бағытына байланысты серіппелер тек бір бағытта мәжбүрлі түрде бұрылады. Сонымен қатар, жұмыс барысында жұмыс беттеріндегі байланыс сызығы үнемі өзгеріп отырады, бұл олардың тозуының төмендеуіне әкеледі.

Тығыздағышты реттеу үшін, мысалы, жөндеу кезінде тозудың орнын толтыру үшін, тірек шайбаларының бірі мен серіппелі төсемнің ұшының арасында қажет болған жағдайда реттеу шайбалары орнатылуы мүмкін.

Төзімсіздік режимін қоздыру және қолдау үшін әртүрлі әдістерді қолдануға болады (жоғарыда аталған жағдайларды орындау кезінде), арнайы әдебиеттерде сипатталған: металл бітеуіш қосындыларды майлауға кіріспе, мәрелі антифрикциялық абразивті емес өңдеу (МАОЕӨ) әдістерімен арнайы өңдеу, құрамында металл қаптайтын компоненттері бар материалдарды қолдану және т. б. Қыстырғышты жұмыс беті тозған кезде мойынтіректі реттеу үшін пайдалану ұсынылады. Мұның бәрі мойынтіректің жұмыс беттеріне қонуды тағайындау кезінде басқа тәсілді қамтиды. Жаңа дизайндағы мойынтіректерді қолдана отырып, автомобиль агрегаттарының кейбір түйіндерін орындау мысалдары төменде келтірілген.

Көптеген ГАЗ модельдерінің алдыңғы аспасы, сондай – ақ көптеген жүк көліктері (мысалы, КаМАЗ) - тәуелсіз, бұралған цилиндрлік серіппелерде, телескопиялық амортизаторлармен бірге жұмыс істейтін көлденең тұрақтылықты тұрақтандырғыш тәуелді түрлері бойынша қарастырылған. Ол алынбалы крестке орнатылады және тәуелсіз түйін болып табылады. Автомобильді басқаруды жеңілдету үшін екі ине мойынтіректеріне немесе резеңке сақиналармен кірден қорғалған қола сырғанау мойынтіректеріне бекітілген, резеңке сақиналары кірден қорғалған, ал осьтік күш арнайы тығыздағышпен жабылған қатты шарикті мойынтірекпен қабылданады (2- сурет) [6, 7]. Айналмалы жұдырық пен тіректің бастары арасындағы осьтік алшақтық реттелетін шайбамен таңдалады. Шайбаны орнатқаннан кейінгі саңылау 0,2 мм-ден аспауы тиіс. Шквор айналмалы жұдырыққа шкворның жоғарғы ұшындағы жартылай шеңберлі қасқалшаға кіретін істіктің көмегімен бекітіледі. Машинаны пайдалану кезінде тербелмелі режимде жұмыс істейтін шквор инелерді басу нәтижесінде бір жағынан тозады, қалыптан тыс люфт пайда болады және басқарудағы тұрақтылық бұзылады [7]. Нұсқауларға сәйкес, бұл артқы жағын 90 сек бұрау арқылы жоюға болады, осылайша бұрын жұмыс істемейтін беттерді жүктеуге болады. Ол үшін екінші жартылай шеңберлі қасқалша бар. Бұл шаралар ілмектің жалпы ресурсын біршама арттырады, бірақ иненің мойынтіректерінің негізгі жетіспеушілігін жоймайды.



Сурет 2. ГАЗ автомобильдерінің алдыңғы аспа тобы үшін қолданыстағы топсалы түйіндерді жаңа топсалармен ауыстыру ықтималдылық конструкция нұсқалары

Инеді мойынтіректері айналмайды, тек кішкентай амплитудалармен (байланыс аймағында) ауытқиды және іс жүзінде ауыспалы сәйкессіздігі бар біліктер арасындағы ілінісу функциясын орындайды. Олар арқылы беру кезінде пайда болатын моменттердің әсерінен, жоғары байланыс кернеулері, мойынтіректердің жұмыс беттерінде майысулар пайда болады,

«жалған бринелинг» деп аталады, ең көп жүктелген мойынтірек кептеліп қалады. Стандартты ине мойынтіректерінде ішкі сақина жоқ, инелерге арналған жылжымалы жол - бұл шұңқырдың беті.

3- суретте ауыр жол жағдайларында пайдалану кезінде пайда болған айқын қиғаштары бар (жалған бринелирлеу) мойынтіректің инелері жұмыс істеген шелектің бір бөлігінің фотосуреті ұсынылған.



Сурет 3. Тозған бөлшектердің сыртқы түрі ("жалған бринелирлеу")
мойынтірек түйіні
А) - мойынтірек;
В) - кресттер

Әдебиетте [8, 9, 10] сондай-ақ, ине мойынтіректерінің орнына қолдануға болатын қатаң бекітілген бұрылыстары бар цилиндрлік спиральды серіппелер түрінде бекітілген аралық элементтері (ішпектері) бар сырғанау тіректері сипатталған.

Мойынтіректердің екі түрінің де кемшіліктері бар - орнатудың, ұрудың және кептелудің пайда болуына байланысты төмен сенімділік пен беріктік.

Иненің жылжымалы мойынтіректерінде [6] үйкелісті төмендететін аралық элемент – төсеніш ретінде ұзын ине роликтері қолданылады, олар жоғары жылдамдықта жақсы жұмыс істейді және өзара айналмалы қозғалысқа арналмаған.

Олар үшін материалдар, дизайн схемалары, жылжымалы подшипниктерді өңдеу және сынау әдістері сәйкесінше таңдалады. Оларды қолдану мәжбүрлі шара болып табылады, өйткені өзара айналу режимі үшін сенімді мойынтірек конструкциялары әлі жасалмаған.

Жұмыс кезінде қола жеңдер де, көбінесе біркелкі емес эксцентрілік тозады.

Қайтарымды-айналмалы (тербелмелі) режим үшін мойынтіректердің сенімділігі мен тозуға төзімділігі мәселесі тозудың әркелкілігі мен жергілікті қазбаның пайда болуына байланысты антифрикциялық материалдардан (металл, полимер, құрама және т.б.) жасалған қозғалмайтын ішпектерді қолдану арқылы шешілмейді. Бұл кемшілік жойылмайды және әр түрлі сым секциялары бар бекітілген бұрылыстары бар спиральды серіппелер түрінде мойынтіректерді қолдану арқылы жойылады, сол уақытта төсеніш тұрақты болып қалады және тек майлаудың таралуын жақсартады.

Нәтижелер

Нақты орындалудың мысалы ретінде газ автомобильдерінің айналмалы аспасына арналған ине роликті мойынтіректің орнына жөндеу жиынтығы ұсынылады. Ұсынылған сырғанау мойынтіректерінде ине роликтерінің жиынтығынан басқа, ине мойынтіректерінің негізгі бөліктері

сақталады. Оның орнына, серіппелі цилиндрлік серіппе түрінде серіппелі төсеніш сыртқы сақина мен доңғалақ арасындағы алшақтыққа орнатылады. Содан кейін, мойынтірек серіппелі төсенішті босату бағытында айналғанда, оның сыртқы бетінде тартылыс пайда болады, ал ішкі жағында алшақтық пайда болады. Бұралу кезінде (мойынтіректің екінші жағына айналуынан) керісінше - лайнердің сыртқы бетінде кернеу жоғалады, ал ішкі жағында ол қайта басталады. Өзара айналмалы (тербелмелі) қозғалыс режимінде серпімді серіппелі төсеніш серіппелі орамның бағытына байланысты бір бағытта мәжбүрлі түрде айналады, осылайша режимді тұрақтандыруға және тозудың біркелкілігіне қол жеткізіледі. Дәстүрлі емес сырғанау мойынтіректері 943/20 инелі мойынтіректер негізінде мойынтірек бөлшектерін барынша қолдана отырып жасалады. Сонымен, 943/20 мойынтірек роликтердің орнына арнайы серіппелі ішпек қолданылады. Мұндай ішпек мойынтіректің сыртқы сақинасына орнатылады. Мойынтіректің сыртқы сақинасы түбін алып тастамай жасалуы мүмкін (әсіресе ГАЗ автомобильдерінің аспалы мойынтіректері үшін). Бұл дизайн мойынтіректерді жақсы тығыздауды қамтамасыз етеді және осы түйінде қолданылатын арнайы қақпақтардың орнатылуын болдырмайды.

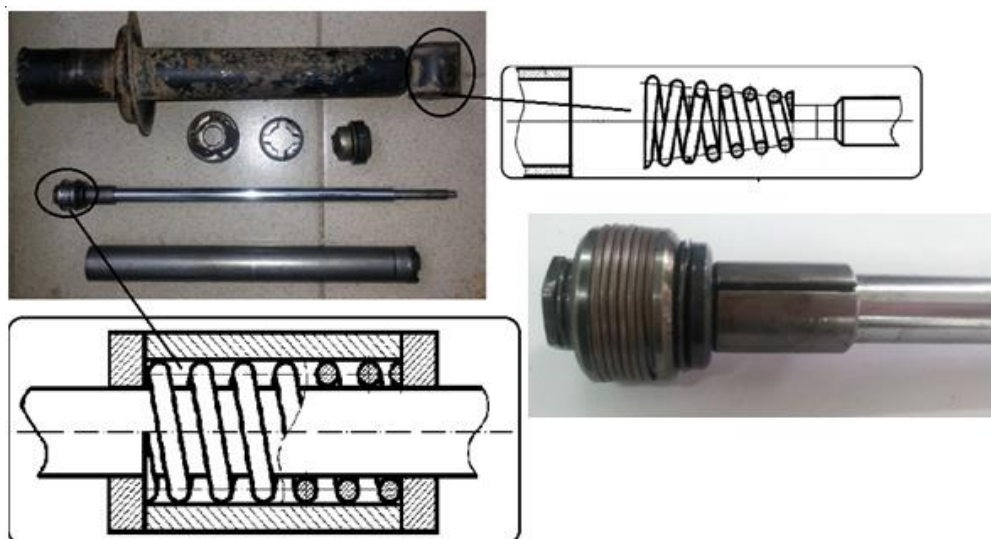
Құрылымдық тұрғыдан алғанда, мойынтірек сақинасы жоғарғы біліксіз орындалады, өйткені ашық бөрене 90 сек бұрышында қазірдің өзінде орнатылған серіппелі төсенішпен қапталған.

Суретте классикалық ВАЗ автомобиль модельдерінің кресттеріне арналған көктемгі төсеніштері бар жөндеу жинақтары[11] (инелердің орнына), (сурет. 4).



Сурет 4. ВАЗ (классикалық) автокөлігінің крестовиналары орнатылған серіппелі жапсырмалар

Амортизатордың поршөнінің дизайнына поршөндік сақинаға қатысты өзгерістер енгізілген, олар бұрандалы цилиндрлік серіппе түрінде жасалған (5-сурет)



Сурет 5. ВАЗ автокөлік артқы амортизаторы: шаршы қиманың сығымдалған орамдары бар цилиндрлік бұрандалы тығыздағышты серіппелі поршеньді жөндеу жиынтығы

Қорытынды

Инновациялық жөндеу жиынтығының мынадай артықшылықтары бар:

- лабиринт әсерінен серіппелі поршеньді тығыздағышты қолданған кезде жақсы обтюрация қамтамасыз етіледі;
- трибологиялық эффектілерді қолдану арқылы поршеньді жұптаудың беріктігі артады;
- "храповик әсерін" пайдалана отырып, серіппелі тығынның айналу тұрақтылығы есебінен пайдаланудағы сенімділік пен қауіпсіздік артады;
- жұмыс беттерінің автоматты түрде алынатын түйісулерінің есебінен, сондай-ақ бөлшектердің жұмыс беттерінің дайындалу дәлдігін төмендету есебінен бұйымды дайындау және құрастыру құны төмендейді;
- жөндеу кезінде серіппелі ішпектің қысылуын реттеу мүмкіндігі тозуды өтеу мақсатында қалады;
- резеңке төлкенің жұмыс қабілеттілігі автомобильге жүктеме өзгерген кезде пайда болатын резеңкедегі кернеуді жою, сондай-ақ сайлентблок конструкциясында серіппелі жапсырманы пайдалану есебінен тегіс емес жолмен қозғалу кезінде сақталады;
- пайдалану аясы кеңейеді: яғни бұл жөндеу жиынтығын көлік машиналарының әртүрлі түйіндерінде қолдануға болады: амортизаторлар, жетек білігінің ілмектері, доңғалақ аспасы, рульдік түйіндер және т. б.;
- мойынтіректің беріктігі 1,5-2 ке артады, төзімділік әсерінің тұрақтылығын арттыру есебінен белгілі конструкцияларында мойынтіректер жоқ;
- "май соратын бұранда" әсерінен майлаудың таралуы жақсарады;
- тораптарды жөндеу және қалпына келтіру жеңілдетіледі - мойынтіректің жаңа жөндеу жинағы дәстүрлі емес конструкцияның жаңа мойынтіректерімен жиынтықта ескі бөлшектерді ("жалған бренелірлеу" іздерімен) пайдалануға мүмкіндік береді;
- инновациялық жөндеу жинағы оңай дайындау, құрастыру және ауыстыру кезінде жөндеу процесінде пайдалану;
- жөндеу аралық жүрісі 1,5-2 артады.

Әдебиеттер тізімі

1. Износ и безызносность: монография / В.Г. Куранов, А.Н. Виноградов, А.С. Денисов. Саратов. гос. техн. ун-т, - Саратов, СГТУ, 2000. -136 с. - кітап
2. Движение без трения и износа: учеб. пособие. / В.Г. Куранов, А.Н. Виноградов. Саратов. гос. техн. ун-т,- Саратов: СГТУ, 2007. – 52 с. - кітап
3. Kushaliyev D., Shulanbayeva L.T., Ermanova B.A. 2019. Repair kit application with spring insert in silentblock of amortizor Lecture Notes in Mechanical Engineering. P. 2185-2191 - мақала
4. Kushaliyev D., Shulanbayeva L.T., Ermanova B.A. 2021. Functional Tuning of Car Suspension Lecture Notes in Mechanical Engineering. P. 694-701 - мақала
5. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов. Изд. 7-е, стер./ В.Е. Гмурман. – М.: Высш. шк. 2000. - 479 с. – оқу құралы
6. Vijayakumar R., Pannirselvam N. Multi-objective optimisation of mild steel embossed plate shear connector using artificial neural network-integrated genetic algorithm. Case Studies in Construction Materials 17, e. 01560. 2022 – мақала.
7. Jia L., Zhao Y., Liu H., Chen Z., Kashan K. Flexural performance of weld-strengthened steel beam-square column joints subjected to axial column loading. Journal of Constructional Steel Research. 2022. P. 19-27 - мақала.
8. Роликовый подшипник качения. RU2018121635. 2014. С.1-3 – патент
9. Liu Z., Xiao W., Cui J., Mei L. Application of an information fusion method to the incipient fault diagnosis of the drilling permanent magnet synchronous motor. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2022. P.219-235 – мақала.
10. Инновационный патент на изобретение РК № 282440, «Подшипник скольжения для возвратно-вращательного движения с коническим пружинным вкладышем» / Д.К. Кушалиев, патентообладатель ЗКАТУ им. Жангир хана14.02.2013 – 6 с. - патент.

Б.Б.Тогизбаева, Д.К. Кушалиев, К.Г. Балабекова, Б. Навийхан

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Область применения инновационного ремонтного комплекта

Аннотация. Рост парка подвижного состава автомобильного транспорта повышает требования к обеспечению дорожной безопасности, которая в значительной мере определяется эксплуатационной надежностью и техническим состоянием узлов и механизмов ходовой части.

Во многих странах ведутся крупномасштабные исследования, связанные с проблемами повышения качества, надежности и долговечности автотранспортной техники и технологического оборудования на основе ремонтных комплектов, а также технологиями изготовления и сборки с использованием новых триботехнических методов, позволяющих повысить эксплуатационную долговечность.

Предлагаемые инновационные ремонтные комплекты для возвратно-вращательного движения могут быть использованы в железнодорожном, автомобильном транспорте, в узлах подвески, амортизаторах и гидроцилиндрах, рулевом управлении, карданных передачах, в подшипниковых узлах летательных аппаратов, электрических контакторах, швейном, горнодобывающем, нефтегазодобывающем и перерабатывающем производствах и некоторых других, где применяются традиционные подшипники скольжения и качения при больших нагрузках в возвратно-вращательном режиме.

Ключевые слова: эффект храповика, пружинный вкладыш, подшипник скольжения, ремонтный комплект, ремонтный комплект.

B.B.Togizbayeva, D.K. Kushaliev, K.G. Balabekova, B. Naviykhan
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Scope of application of the innovative repair kit

Abstract. The growth of the fleet of rolling stock of motor transport increases the requirements for road safety, which is largely determined by the operational reliability and technical condition of the components and mechanisms of the chassis.

In many countries, large-scale studies are being conducted related to the problems of improving the quality, reliability and durability of motor vehicles and technological equipment based on repair kits, as well as manufacturing and assembly technologies using new tribotechnical methods that increase operational durability.

The proposed innovative repair kits for reciprocating motion can be used in railway, automobile transport, suspension units, shock absorbers and hydraulic cylinders, steering, cardan gears, bearing units of aircraft, electrical contactors, sewing, mining, oil and gas production and processing industries and some others where traditional sliding and rolling bearings are used under heavy loads in the reciprocating-rotational mode.

Keywords: ratchet effect, spring liner, sliding bearing, repair kit, repair kit.

References

1. Iznos I bezyznosnost': monographia/ V.G. Kuranov, A.N. Vinogradov, A.S. Denisov. Sarat.gos.tekhn. un-t, - Saratov, SGTU, 2000. -136 s. - book
2. Dvijenie bez treniya I iznosa: ucheb.posob./ V.G. Kuranov, A.N. Vinogradov. Движение без трения и износа: учеб. пособие. / В.Г. Куранов, А.Н. Виноградов. Sarat.gos.tekhn. un-t, - Saratov, SGTU, 2007. – 52 с. - book
3. Kushaliyev D., Shulanbayeva L.T., Ermanova B.A. 2019. Repair kit application with spring insert in silentblock of amortizor Lecture Notes in Mechanical Engineering. P. 2185-2191 - Journal article
4. Kushaliyev D., Shulanbayeva L.T., Ermanova B.A. 2021. Functional Tuning of Car Suspension Lecture Notes in Mechanical Engineering. P. 694-701 - Journal article
5. Gmurman V.E. Teoriya veroyatnostei I matematicheskaya statistika: ucheb.posobie dlya vuzov. Izd. 7, ster/ V.E. Gmurman. – M. Vysh.shk.2000. – 479 s.– textbook.
6. Vijayakumar R., Pannirselvam N. Multi-objective optimisation of mild steel embossed plate shear connector using artificial neural network-integrated genetic algorithm. Case Studies in Construction Materials 17, e. 01560. 2022 – Journal article.
7. Jia L., Zhao Y., Liu H., Chen Z., Kashan K. Flexural performance of weld-strengthened steel beam-square column joints subjected to axial column loading. Journal of Constructional Steel Research. 2022. P. 19-27 - Journal article.
8. Роликовый подшипник качения. RU2018121635. 2014. С.1-3 – patent.
9. Liu Z., Xiao W., Cui J., Mei L. Application of an information fusion method to the incipient fault diagnosis of the drilling permanent magnet synchronous motor. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2022. P.219-235 – Journal article.
10. Innovacionnyi patent na izobrenie RK № 282440, «Podshipnik skolzheniya dlya vozvratno-vrashatel'nogo dvizheniya s konicheskim pruzhinnyim vkladyshe»/ D.K. Kushaliev, Patentoobladatel ZKATU im. Zhangir Hana 14.02.2013 - 6s. - patent.

Авторлар туралы мәлімет:

Тогызбаева Б.Б. – техника ғылымдарының докторы, профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің көлік, көлік техникасы және технологиялары кафедрасының

менгерушісі, Астана, Қазақстан.

Қушалиев Д.К. – техника ғылымдарының кандидаты, Ph.D. докторы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің көлік, көлік техникасы және технологиялары кафедрасының доцентінің міндетін атқарушы, Астана, Қазақстан.

Балабекова К.Г. – Ph.D. докторы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің көлік, көлік техникасы және технологиялары кафедрасының доценті, Астана, Қазақстан.

Навийхан Б. - Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің көлік, көлік техникасы және технологиялары кафедрасының аға оқытушысы, Астана, Қазақстан.

Togizbayeva B.B. - Doctor of Technical Sciences, Professor. Head of the Department of Transport, Transport Equipment and Technology of the L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Kushaliev D.K. - Candidate of Technical Sciences, PhD, Acting Associate Professor of the Department of Transport, Transport Engineering and Technology of the L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Balabekova K.G. - PhD, Associate Professor of the Department of Transport, Transport Engineering and Technology of the L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Naviykhan B. - Senior Lecturer of the Department of Transport, Transport Equipment and Technology of the L.N.Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

A. Tulebekova¹, Zh. Kusbergenova¹, A. Aldungarova², A. Bakirbayeva²¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan²D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

(E-mail: krasavka5@mail.ru)

Peculiarities of bitumen testing methods

Abstract. Bitumen as a construction material is extremely widespread in hydraulic engineering and road construction. Bitumen has a wide variety of features and useful properties, which allowed it to reach a leading level among other binder building materials. The article presents the peculiarities of laboratory testing of bitumen. Step by step the technique of bitumen testing on the ring-ball device and on the ductilometer is disclosed. The importance of testing quality control is justified. The results obtained showed the absence of deviations from the normative values. And reliability and accuracy of the obtained results are reached due to the use of an analytical approach and taking into account the risks arising during the tests. The account of which is presented by means of the "bow-tie" methodology, the main advantages of the use of which are the analysis of the reasons for risk occurrence, and the determination of decisions on their elimination.

Keywords: bitumen, test, ductilometer, risk, reliability

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-47-54**Introduction**

Currently, there is an increase in requirements for the operational and transport characteristics of asphalt concrete pavement due to the annual increase in the number of motor vehicles in almost all regions of Kazakhstan. At the same time, the service life of road surfaces is affected by the quality of used bitumen, which is one of the important components of road pavement. The annual increase in road construction requires more bitumen and it is of high quality. But there are problems with the quality of bitumen sometimes. Bitumen is the product of the distillation of oil, and in recent years, the percentage of quality bitumen from tar is decreasing due to the increase in the depth of oil refining. Density is considered a distinctive property of bitumen, as it depends on the content of the components in the bitumen (Figure 1).

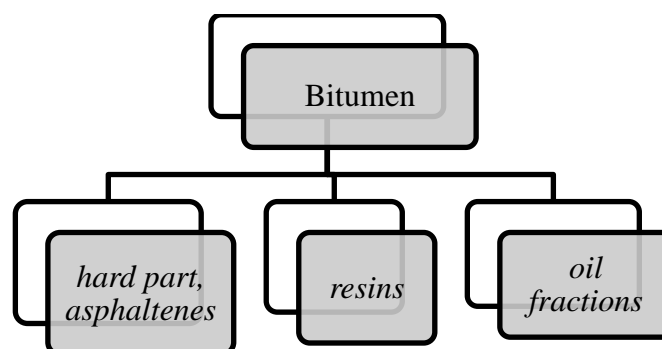


Figure 1. Compounds that form bitumen

For example, the build-up of aromatic structures increases the density of bitumen, while the build-up of saturated compounds, on the contrary, the density decreases[1].

Another important property of bitumen is the flash point [2]. Thus, the flash point of bitumen when heated determines the flammability of the bituminous mixture[3]. The ability of bitumen to resist

the movement of the dispersed medium under stress from the outside is its viscosity.

At the same time, other equally important factors of bitumen, which establish its marking, as well as the components are water resistance, water resistance, resistance to acid, alkali, salt, and gases, and the ability to dissolve in solvents.

Determination of these indicators is an important and responsible stage [4]. Therefore, a lot of research is devoted to improving the quality of bitumen [5]. Researchers from Drexel College, USA [6] note the possibility of adding the bacterium *Sporosarcina pasteurii*. The study [7] investigated the physical and mechanical properties of polymer asphalt concretes on bitumen-polymer binders modified with mixed thermoplastic elastomers. Thus, determining the initial properties of bitumen is an important part of the modification [8].

Experimental materials and methods

Research to determine the softening temperature of bitumen is carried out on the device "Ring & ball"[9]. The test algorithm is shown in Figure 2.

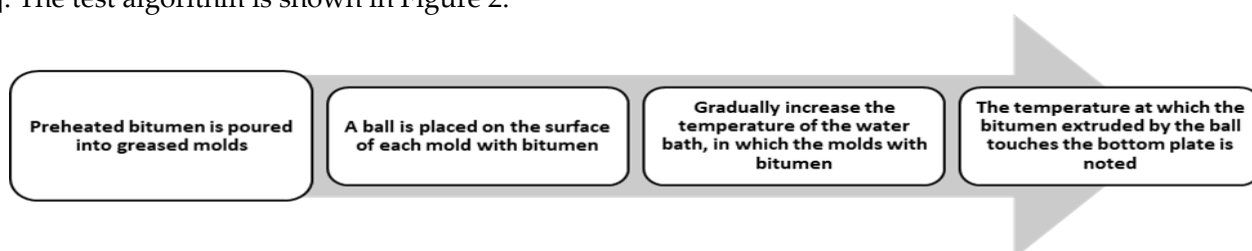


Figure 2. Stages of "Ring & ball" investigation

This study used road bitumen grade 70/100, which was preheated to a temperature of 25°C to be able to pour into the used containers of devices used in the study (Figure 3).



Figure 3. Forms for testing on the "Ring & Ball" device a) empty form; b) form with bitumen

Then, containers filled with bitumen were placed in a glass transparent cylinder with distilled water (Figure 4).



Figure 4. Bitumen testing process on the "Ring&Ball" device

Then the water in the cylinder is gradually heated, while increasing the temperature value at 5⁰C per minute, as a result, when the bitumen is heated to the softening temperature, the ball placed on the bitumen will fall, and contact the sensor installed at the bottom of the cylinder. Thus, the indicator of the softening temperature of bitumen is the value at which the ball placed on the bitumen reaches the bottom of the cylinder (Figure 5).

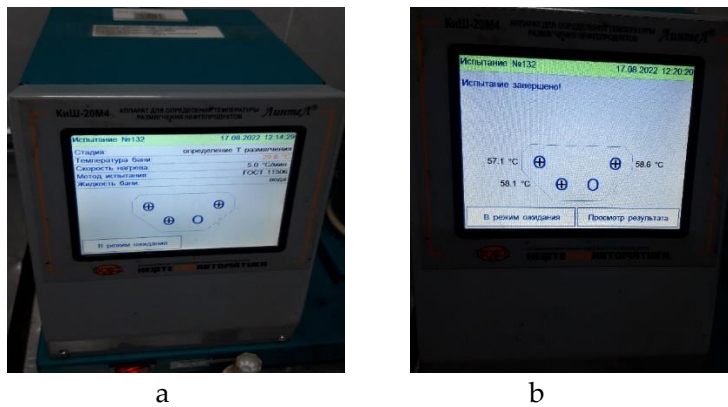


Figure 5. Readings of the instruments during the test a) data during the test; b) data at the end of the test

Tensile parameters of bitumen were determined using a ductilometer instrument [10]. The algorithm of the ductilometer test is shown in Figure 6.

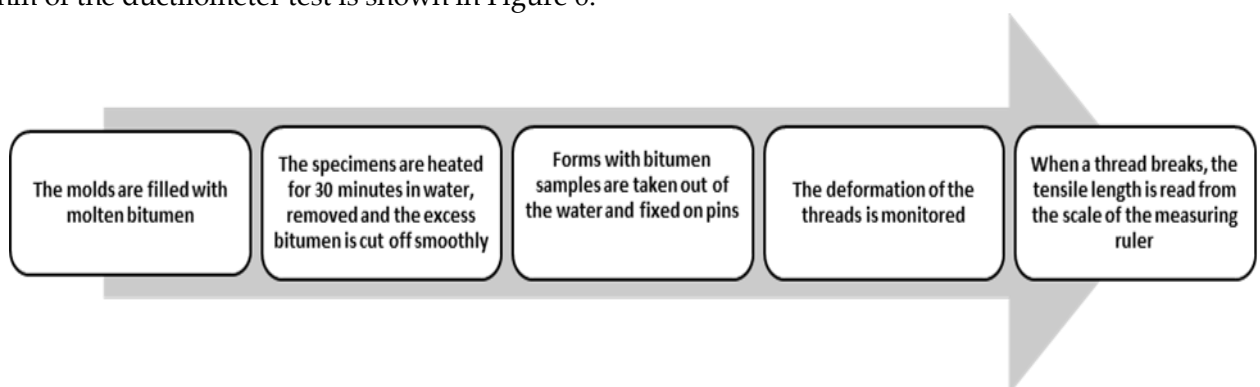


Figure 6. Stages of investigation tensile parameters of bitumen

During the test, the containers were pre-lubricated with Vaseline to facilitate the removal of bitumen residue after the test (Figure 7).

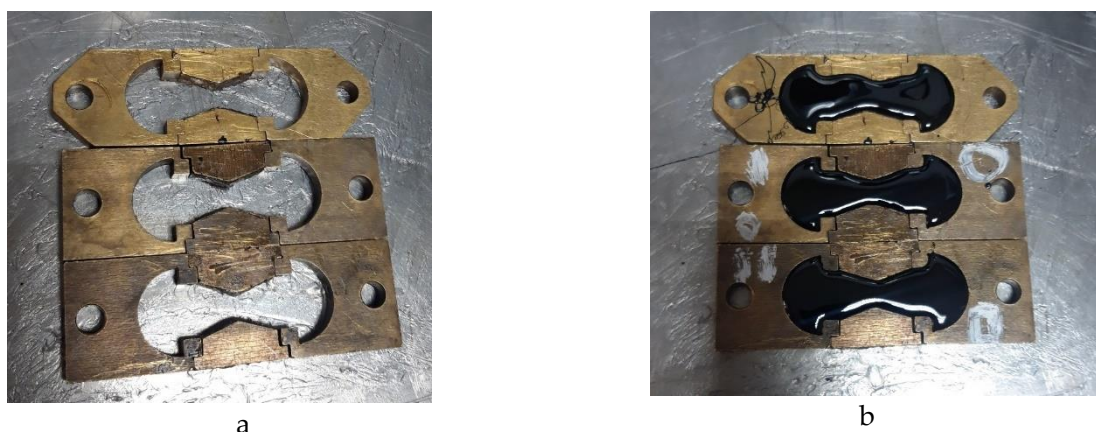
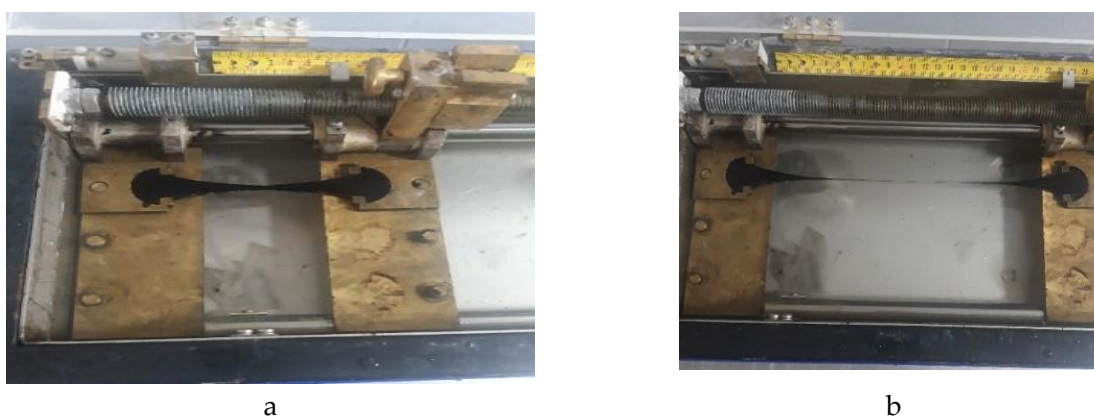


Figure 7. Photos of greased molds: a) before filling, b) filled with bitumen

These molds filled with bitumen were kept for 30 minutes at ambient temperature for the bitumen to cool down and come to its original state. Then the molds with the sample of tested bitumen were placed in water filled in a ductilometer and kept in water at 25°C for 30 minutes, then using a staple with a straight blade removed the excess top layer of bitumen protruding beyond the boundaries of the mold. The molds with the bitumen sample are attached to the ductilometer racks and the test begins (Figures 8-9).



Figure 8. Photo of forms with samples of bitumen in the water ductilometer



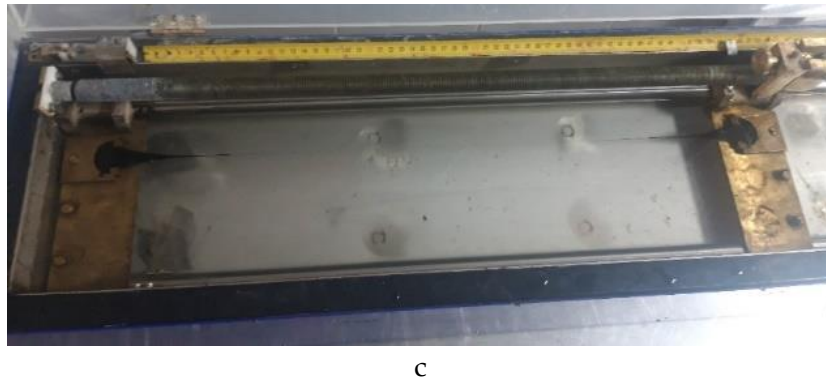
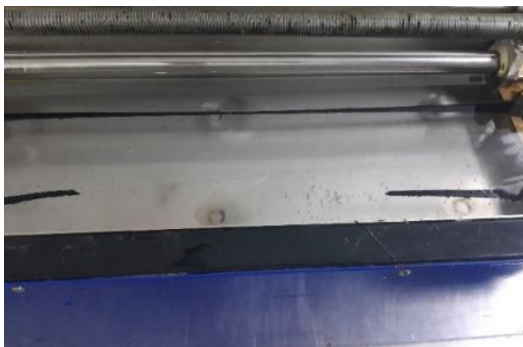


Figure 9. Tensile testing process in the ductilometer: a) stage 1; b) stage 2; c) stage 3

The bitumen sample was further aged in a heated and the ductility test was repeated (Figure 10).



a



b

Figure 10. Tensile testing process further aged: a) stage 1; b) stage

Results and Discussion

According to the research carried out in the laboratory, the softening temperature of bitumen was in the range from 57.1⁰C to 58.6⁰C. Table 1 shows the results of the "Ring&Ball" device and ductilometer tests.

Table 1 - Result of tests

Name of indicators, units of measurement	Standard	Standard norm	Test results
Softening temperature	ST RK 1227-2003 [9]	no more 43	45
Tensile strength at 25 no less	ST RK 1374-2005 [10]	no more 90	56

Since bitumen quality control is an integral part of testing to improve the quality of road construction materials, certain difficulties (events or conditions) arise during testing that tends to have a negative impact on achieving reliable test results.

When conducting tests using functional analysis of the "bow-tie" were identified the main risks [11], affecting the achievement of the goal of the research, as well as proposed ways to address the risks (Figure 11). And there are presented the ways of solving the emerging risks.

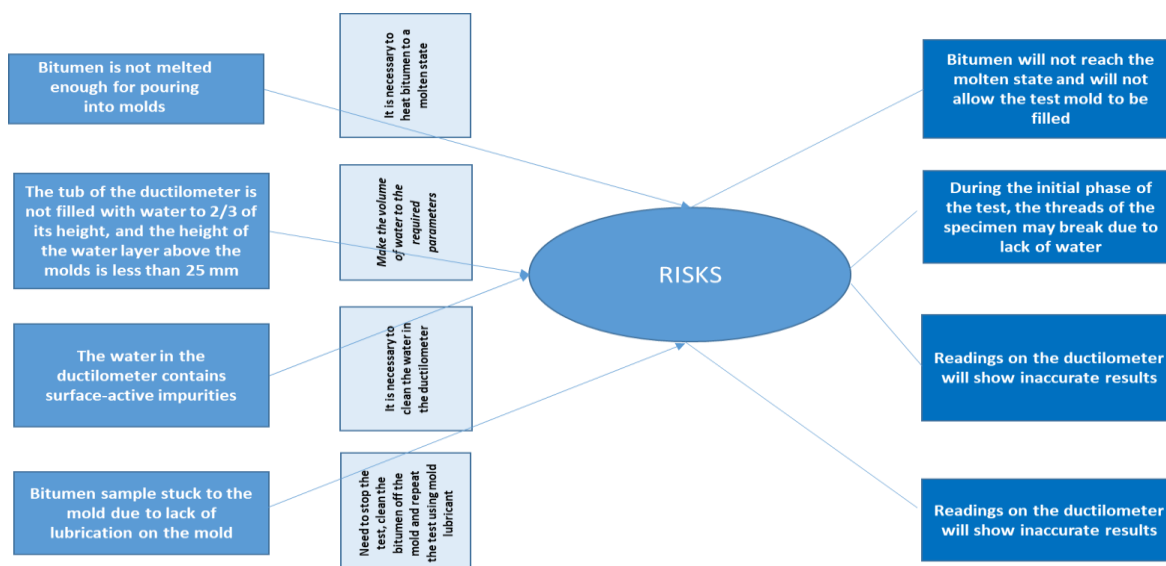


Figure 11. Risks of ductilometer testing

Conclusion

The main purpose of assessing the quality of bitumen is to provide facilities for the construction, reconstruction, and repair of roads with high-quality bitumen, as well as the timely prevention of the use of the substandard product. Therefore, the fundamental factor is in the testing of bitumen guidance to the requirements of regulatory documentation.

The study also presents the risks that may arise in the process of determining the properties of bitumen. Knowing and understanding the importance of each stage of the experiment is the result of obtaining reliable data with low measurement error.

The results of tests on the extensibility of bitumen showed compliance with the normative indicators, which allowed evaluation of the resistance of the material to mechanical stress, and the ability to work in flexure and elasticity.

References

1. The properties of asphaltic bitumen: with reference to its technical applications / J. Pfeiffer – 2013 – 300 p.
2. The Shell Bitumen Handbook / Robert N. Hunter, Andy Self and John Read 2015. – 761 p.
3. Polymer Modified Bitumen / Tony McNally 2011. – 424 p.
4. Investigation of the Effect of Adhesive Additive on the Plasticity of Road Bitumen and Physical-Mechanical Properties of the Road Concrete Mix / Mukhamatdinov I. I. // Chemistry for Sustainable Development. – 2021. – No. 1. DOI: 10.15372/CSD2021281
5. Practical experience with modified bitumen and bituminous binders / Z. Kusbergenova, A. Zhankina // Technobius. – 2022. – T. 2, № 1. – 3. 0013. DOI: 10.54355/tbus/2.1.2022.0013
6. Effect of Waste Polyethylene and Wax-Based Additives on Bitumen Performance / L. Desidery, M. Lanotte // Polymers. – 2021. – Vol. 13, No. 21. – P. 3733. DOI: 10.3390/polym13213733
7. Полимерасфальтобетоны с применением нефтяных дорожных битумов, модифицированных смесевыми термоэластопластами / Газинов К.И., Макаров Д.Б. – 2017. – № 1 (5).
8. FM analysis of aging properties of UV531/SBS modified bitumen / F. Zhengang, C. Fengjie, Y. Dongdong, L. Xinjun // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. –

Vol. 758, No. 1. — P. 012068. DOI: 10.1088/1757-899X/758/1/012068

9. Bitumens and bituminous binders. Determination of the softening point by the ring and ball method / ST RK 1227-2003- 2003.
10. Bitumens and bituminous binders. Method for determining the extensibility/ ST RK 1374-2005-2005.
11. Risk assessment methods / GOST P ISO/IEK 31010-2011 — 2011.

А. Тулебекова^{1*}, Ж. Кусбергенова¹, А. Аддунгарова², А. Бакирбаева²

¹Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

²Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

Битумды сынаудың ерекшеліктері

Андатпа. Құрылыс материалдары ретінде битумдар гидротехникалық, жол құрылысында өте кең таралған. Битумдар басқа байланыстырушы құрылыс материалдарының арасында жетекші деңгейге шығуға мүмкіндік беретін ерекшеліктері мен пайдалы қасиеттерінің кең өзгеруіне ие. Мақалада битумды зертханалық сынаудың ерекшеліктері келтірілген. Битумды сақинада-шарикті құрылыста және дуктилометрде сынау әдісі біртіндеп ашылады. Сынақтардың сапасын бақылаудың маңыздылығы негізделген. Алынған нәтижелер нормативтік мәндерден ауытқулардың жоқтығын көрсетті. Ал алынған нәтижелердің сенімділігі мен дәлдігіне аналитикалық тәсілді қолдану және сынақтар жүргізу кезінде туындайтын тәуекелдерді есепке алу есебінен қол жеткізіледі. Олардың есебі "галстук-бантик" әдісінің көмегімен ұсынылған, оны пайдаланудың негізгі артықшылықтары тәуекелдің себептерін талдау және оларды жою бойынша шешімдерді анықтау болып табылады.

Түйінді сөздер: битум, сынақ, иілгіштік өлшегіш, тәуекел, сенімділік.

А. Тулебекова^{1*}, Ж. Кусбергенова¹, А. Аддунгарова², А. Бакирбаева²

¹Евразийский университет им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

²Восточно-Казахстанский технический университет им. Д.Серикбаева

Особенности методов испытания битума

Аннотация. Битумы как строительные материалы получили крайне широкое распространение в гидротехническом, дорожном строительстве. Битумы обладают широкой вариацией особенностей и полезных свойств, которые позволили ему выйти на ведущий уровень среди прочих связующих строительных материалов. В статье представлены особенности лабораторных испытаний битума. Шаг за шагом раскрывается методика испытаний битума на кольце-шариковом приборе и на дуктилометре. Обоснована важность контроля качества испытаний. Полученные результаты показали отсутствие отклонений от нормативных значений. А надежность и точность полученных результатов достигается за счет использования аналитического подхода и учета рисков, возникающих при проведении испытаний. Учет представлен с помощью методики «галстук-бабочка», основными преимуществами использования которой являются разбор причин возникновения риска и определение решений по их устранению.

Ключевые слова: битум, испытание, дуктилометр, риск, надежность.

References

1. The properties of asphaltic bitumen: with reference to its technical applications / J.Pfeiffer – 2013— 300 p.
2. The Shell Bitumen Handbook / Robert N. Hunter, Andy Self and John Read 2015. — 761 p.
3. Polymer Modified Bitumen / Tony McNally 2011. — 424 p.
4. Investigation of the Effect of Adhesive Additive on the Plasticity of Road Bitumen and Physical-Mechanical Properties of the Road Concrete Mix / Mukhamatdinov I. I. // Chemistry for Sustainable Development. — 2021. — No. 1. DOI: 10.15372/CSD2021281
5. Practical experience with modified bitumen and bituminous binders / Z. Kusbergenova, A. Zhankina // Technobius. — 2022. — Т. 2, № 1. — 3. 0013. DOI: 10.54355/tbus/2.1.2022.0013
6. Effect of Waste Polyethylene and Wax-Based Additives on Bitumen Performance / L. Desidery, M. Lanotte // Polymers. — 2021. — Vol. 13, No. 21. — P. 3733. DOI: 10.3390/polym13213733
7. Полимерасфальтобетоны с применением нефтяных дорожных битумов, модифицированных смесевыми термоэластопластами / Газинов К.И., Макаров Д.Б. — 2017. — № 1 (5).
8. FM analysis of aging properties of UV531/SBS modified bitumen / F. Zhengang, C. Fengjie, Y. Dongdong, L. Xinjun // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2020. — Vol. 758, No. 1. — P. 012068. DOI: 10.1088/1757-899X/758/1/012068
9. Bitumens and bituminous binders. Determination of the softening point by the ring and ball method / ST RK 1227-2003- 2003.
10. Bitumens and bituminous binders. Method for determining the extensibility/ ST RK 1374-2005-2005.
11. Risk assessment methods / GOST P ISO/IEK 31010-2011 — 2011.

Information about authors:

Tulebekova A. - Ph.D., Associate Professor in Department of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Kusbergenova Zh. - Master Student in Department of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Aldungarova A. - Ph.D., Associate Professor in School of Architecture and Construction, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

Bakirbayeva A. – Master of Technical Sciences., Senior Lecturer in School of Architecture and Construction, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

Түлебекова Ә.С. - «Құрылыс» кафедрасының доценті, Ph.D., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Кусбергенова Ж. - «Құрылыс» кафедрасының магистранты, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Алдунгарова Ә.Қ. - Сәулет және құрылыс мектебінің доценті, Ph.D., Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан.

Бакирбаева А.А. - Сәулет және құрылыс мектебінің оқытушы, магистр, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан.

А.А. Каражанов¹, Ж.Р. Алипбаев¹, У.Ш. Кокаев¹, А.Б. Забиева¹,
С.О. Торебекова²

¹Л.Н. Гумилев атындағы Евразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

²Жоғары көлік және коммуникация колледжі, Астана, Қазақстан

(E-mail: akarazhanov@mail.ru¹, alipbaev.1977@mail.ru², kush_kush78@mail.ru³, aliya.zhakupovazabieva@mail.ru⁴, torebekova-s@mail.ru⁵)

Қоспалы отынның негізгі қасиеттері (дизель отыны + диметил эфирі) және диметил эфирі қоспасының дизельдік қозғалтқыш жұмысының көрсеткіштеріне әсерін теориялық бағалау

Аңдатпа. Жұмыста баламалы отын түрлеріне физикалық – химиялық талдау жүргізіліп, оның ішінен диметил спирті таңдалынды. Қоспалы отынның негізгі қасиеттері (ДТ +ДМЭ) және диметил эфирі қоспасының дизельдік қозғалтқыш жұмысының көрсеткіштеріне әсерін бағалау үшін бірқатар теориялық есептеулер жүргізілді. Аралас отынның қозғалтқыш жұмысына әсерін неғұрлым толық бағалау үшін регрессиялық модельдеу әдістері қолданылды. Регрессия коэффициенттерін есептеу MATLAB қолданбалы пакетінің көмегімен компьютерде жүргізілді. Жүргізілген теориялық есептеулер мен математикалық модельдеулер 30% диметил эфирін дизель отынына қосу дизельді қозғалтқыштардың экологиялық көрсеткіштерін төмендету үшін ең тиімді қоспаның үлесі екенін көрсетті.

Түйін сөздер: цетан саны, тұтқырлық, стихеометриялық коэффициент, тығыздық, фракциялық құрам, жану жылуы, элементарлы құрам

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-55-62

Кіріспе

Қазіргі кезде автомобиль отынының қасиеттеріне қойылатын талаптар дизель отынында тиімді қолдану тұрғысынан дайындау мәселесі өзекті болып қала береді. Физикалық-химиялық қасиеттерімен диметил эфирі таза күйінде тек қозғалтқыш отынына қойылатын күрделі талаптарды аздап қана қанағаттандырады. Сәйкесінше, осы отын түрін пайдалану мәселелерін қозғалтқышты белгілі-бір құрылымдау арқылы, атап айтқанда отынды беру жүйесін барынша өзгерту жолымен шешуге болады. Сонымен қатар, бұл жағдай қозғалтқышты жаңа отын түріне «бейімдеу» процесі басымдау болады, бұл дәл қазіргі жағдайда оңтайлы шешілетін мәселе емес. Кез-келген баламалы отын түрін пайдалану дәстүрлі отын түріне қарағанда белгілі бір артықшылықтарға қол жеткізуді көздейді. Бұл қалыпқа келмейтін ресурстардан алынатын дәстүрлі отын түрін неғұрлым тиімді шикізат бағасына ие отын түріне ауыстыру немесе қалпына келетін көздерден одан да тиімді өндіру немесе қозғалтқыштың жұмыс барысында жоғары техникалық көрсеткіштерге қол жеткізуге болады. Оларға, сонымен қатар қозғалтқыштың экологиялық көрсеткіштері де кіреді. Аталған нәтижелерге қол жеткізу барысында пайдаланудағы қозғалтқыштарды барынша жаңарту немесе балама отын түрінің қасиеттеріне барынша «бейімдеу» негізінде жаңа түрін дайындау орынды болып табылады. Бұндай тәсіл елімізде жекелеген жағдайларда орынды болып табылады, мысалы, аймақтағы өңірлік отынды (көмірден синтетикалық отын немесе газконденсатты отын түрі) пайдалану барысында және жақын болашаққа бағытталмаған ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізу барысында ғана экономикалық жағдайларды ескере отырып жүргізіледі. Қозғалтқыштарда жашпай пайдаланылатын отын түрі негізгі пайдалану көрсеткіштерімен мұнай өнімдерінен дайындалған дәстүрлі отындарға ұқсас

болуы қажет. Бұл жағдайда, қарама-қарсы тәсіл басым болған дұрыс – яғни, отынды пайдаланып жүрген қозғалтқыштарға «бейімдеу».

Физикалық қасиеттері бойынша диметил эфири дизель отын түрінен ерекшеленеді, сонымен бірге энергия жағынан айтарлықтай артықшылықтарға қол жеткізілмейді. Диметил эфиринің дизель отын түрінен артықшылығы – оны пайдалану барысында қозғалтқыштағы экологиялық көрсеткіштер едәуір жоғарылайды. Диметил эфиринің бұндай оң қасиетін ондағы «теріс» қасиеттерден аулақ болып, пайдалану қажет. Бұл мәселені оң шешудің жолдарының бірі - диметил эфириін дәстүрлі дизель отынына қосу жолымен оның қасиеттерін жақсарту болып табылады. Бұл ретте жаңадан алынған отын түрі негізгі көрсеткіштер бойынша дәстүрлі отын түрлеріне сәйкес келуге және қозғалтқыш жүйелерін елеулі өзгертуді талап етпеуі тиіс. Диметил эфириін қосу жолымен экологиялық жоғары сипаттамаларға ие, яғни диметил отынын дизель отынына қосу арқылы отынды оттегімен қанықтырамыз. Бұл жағдай отынның түтіндеуін төмендетеді және жану температурасының неғұрлым төменгі шегі есебінен азот оксидтері эмиссиясы көрсеткіші төмендейді. Осыған орай араласқан отынның негізгі моторлық және физикалық қасиеттеріне есептеу-эксперименттік зерттеулер жүргізуді және дизель қозғалтқышының жұмысына диметил эфири қоспасының әсерін теориялық бағалауды қажет етеді.

Материалдар және әдістер

Қарапайым құрамы. Дизель отынына диметил қосылғанда аралас отынның қарапайым құрамы өзгеріске ұшырайды. Аралас отынның С:Н:О қатынасы аддитивті принцип бойынша есептеледі:

$$(1 - \varphi)(C + H + O)_{\text{ДО}} + \varphi(C + H + O) = 1 \quad (1)$$

мұндағы, φ – аралас отын қоспасындағы диметил эфириінің үлес салмағы (массалық),
(C + H + O) – тиісінше заттардың элементарлық құрамы.

Сәйкесінше, аралас отынның әр элементі бойынша массалық үлес келесіге тең болады:

$$g_C = (1 - \varphi)g_{\text{CДО}} + g_{\text{CДМЭ}} \quad (2)$$

$$g_H = (1 - \varphi)g_{\text{HДО}} + g_{\text{HДМЭ}} \quad (3)$$

$$g_O = (1 - \varphi)g_{\text{ODO}} + g_{\text{ODMЭ}} \quad (4)$$

мұндағы g – отын элементтерінің массалық үлесі.

Диметил эфириін дизель отынына қосу, жоғарыда айтып өткендей, отынды оттегімен қанықтыру әдісінің бірі болып табылады және де күйенің түзілу мүмкіндігінің төмендеуіне алып келеді. Отынның қарапайым құрамының күйе түзілу процесіне әсерін ықтималдық есептік бағалауға қысқаша тоқталайық.

Күйенің түзілу шарты мынада: жану камерасының жергілікті аймақтарында оттегінің жеткіліксіздігі (орта мән $\alpha > 1$), яғни жергілікті химиялық жану процесі толық жүрмеуі.

Күйенің теориялық пайда болмауының шекті жағдайы отын – ауа қоспасындағы көміртек пен оттегі атомдарының санының теңдігі болып табылады (C:O = 1). Жанармай-ауа қоспасындағы оттегінің одан әрі төмендеуімен (C:O > 1) жану өнімдерінде жанбайтын көміртек (күйе) пайда болады.

Қоспаның стехиометрия құрамы $\alpha=1$ сай келеді, ауаның артықшылық теориялық коэффициенті α келесі өрнекпен есептеледі:

$$\alpha_c = \frac{1 - \frac{3}{4} g_o / g_c}{2(1 + 3g_H / g_c) - 3(g_o / 8g_c)} \quad (5)$$

Осы шамалар талдамасынан отын қоспасындағы диметил эфирінің үлесі шамасының артуымен отынның күйені түзу тенденциясы азаятындығын атап өтсек болады, бұл ретте α_c шамасы сызықтық тәуелділікпен төмендемейді. Теориялық тұрғыдан алсақ, құрамы 10, 20, 30 және 40% диметил эфирге ие отын (массасы бойынша алсақ) кәдімгі дизель отынымен салыстырсақ түзілетін күйенің үлесі сәйкесінше 3,37; 7,01; 10,97 және 15,27 пайызға аз болуы тиіс.

Кесте 1 - Диметил эфирі қосылған отын түрінің қарапайым құрамы

Көрсеткіштер	ДО	ДМЭ	ДО + 10% ДМЭ	ДО + 20% ДМЭ	ДО + 30% ДМЭ	ДО + 40% ДМЭ	ДО + 50% ДМЭ
g_c	0,873	0,522	0,838	0,803	0,768	0,733	0,698
g_H	0,127	0,13	0,1273	0,1276	0,1279	0,1282	0,1285
g_o	-	0,348	0,0696	0,0696	0,1044	0,1392	0,174
α_c	0,348	0,0167	0,324	0,324	0,310	0,295	0,279

Қоспаның тұрақтылығын қарастырайық

Дизель отыны мен диметил эфирінің қоспасымен жұмыс істеу кезінде іштен жанатын қозғалтқыштарды қалыпты пайдалануға негіз, ол осы қоспаның уақыт бойында тұрақтылығын анықтап алу, яғни отынның қатпарлану сипаты болып табылады [1].

Қоспа параметрлерін зерттеуге арнайы жабдық пайдаланылады. Цилиндр қажетті құрамдағы қоспамен толтырылады, яғни, алдымен дизель отыны құйылды, содан соң сұйытылған диметил эфирі, бұл қоспаның араласуын қамтамасыз етуі үшін [1].

Цилиндрдің тербелмелі және айналмалы қозғалыстарын қамтамасыз етуге арналған арнайы стендте соңғы араластыру механикалық шайқау жолымен қамтамасыз етіледі. Баллонға қоспа сынамасын алу үшін арналған штуцерлер, манометрге ие үш жүрісті крандар орнатылады, сонымен қатар баллондағы қоспа деңгейін бақылап тұратын су өлшеуіш шынылар да болады. Диметил эфирін және дизельді араластырудың аталған тәсілі диметил эфирін құрамы 40 пайыздан артық болғанда қолайлы болмайтындығын ескерген жөн. Осыдан кейінгі тәжірибелер нәтижелері көрсеткендей, бұндай араластыру түрі және сынама алу әдісі тәжірибе көрсеткіштерінің дәлдігін қамтамасыз етпейді. Бір мезгілде алынған сынамалар нәтижесі, қоспадағы құрамдас бөліктердің түрлі құрамға ие болатындығын көрсетті. Сонымен қатар, сынамалардың құрамы қоршаған орта температурасы мен қысымына елеулі тәуелді болғанын ескеру қажет. Бұл жағдайда құрамында 40 пайызға дейінгі диметил эфиріне ие қоспалар оң нәтижелер көрсетті. Электрлімагниттік араластырғыштарды қолданумен жақсы нәтижелерге қол жеткізуге болады, бірақ та бұл жұмыс барысында аталған әдіс қолданылмады. Жұмыс барысында сұйытылған газдар (пропан-бутан) мен дизель отынының қоспалары да зерттелді, ал, бұл өз кезегінде диметил эфирі газдардың физикалық қасиеттеріне ұқсас екендігін көруге болады, яғни, бұл әдіс дизель отыны мен диметил эфирі қоспаларының тұрақтылығы дұрыс бағаланды деп толық қорытынды жасасақ болады [1].

Цетан саны.

Дизель қозғалтқыштарына отынның маңызды параметрінің бірі – цетан саны. Аралас отынның цетан санын, яғни оттегі бар қосылыстармен бірге анықтау – бұл бөлек мәселе[1].

Қоспалардың цетан санын профессор Г. М. Камфер ұсынған аддитивті әдіспен анықталды[1], [2].

Аддитивті әдіс:

$$ЦС_{\Sigma} = ЦС_{дмэ} * \varphi + ЦС_{до} (1 - \varphi) \quad (6)$$

мұндағы, $ЦС_{дмэ}$ - диметил эфир цетан саны 55-ке тең.

$ЦС_{до}$ - дизель отынындағы цетан саны.

φ - диметил эфирінің қоспадағы үлесі

Ал Камфер әдісімен келесі өрнекпен анықталады[2]:

$$ЦС_{\Sigma} = ЦС_{дмэ} * \varphi + ЦС_{до} (1 - \varphi) - \Delta ЦС \quad (7)$$

мұндағы, $\Delta ЦС$ – түзетілген саны.

Стехиометриялық коэффициент.

Дизель отыны мен диметил эфирі жануы үшін ауаның түрлі мөлшерін қажет етеді, яғни диметил эфирінің бұндай ерекшелігі қозғалтқыш жұмысына айтарлықтай өзгерістерге ұшыратады[1].

Дизель отыны мен диметил эфирінің қоспасына арналған стехиометриялық коэффициент келесідей әдістеменен есептеледі[1],[2]

$$\lambda = \lambda_{до} (1 - \varphi) + \lambda_{дмэ} \varphi \quad (8)$$

мұндағы, $\lambda_{дмэ}$ – диметил эфиріндегі стехиометриялық сан

$\lambda_{до}$ – дизель отынындағы стехиометриялық сан

φ - диметил эфирінің қоспадағы үлесі

Қоспаның жану жылуы.

Дизель отыны мен диметил эфирі қоспасының жану жылу көрсеткіші төмендейді. Оған себеп, дизель отынымен салыстырғанда диметил эфирінің жану жылуының мәнінің көрсеткіші төмен болып келеді (43,4 МДж/кг және 27,6 МДж/кг) [1],[3].

Есептеуді төмендегі формуламен жүргізілді:

$$H_{Укк} = H_{УДД} (1 - \varphi) + \varphi H_{дмэ} \quad (9)$$

мұндағы, $H_{Удо}$ – дизель отыны бойынша төменгі жану жылуы

$H_{Удмэ}$ – диметил эфирі бойынша төменгі жану жылуы

φ - диметил эфирінің қоспадағы үлесі

Отын тұтқырлығы.

Тұтқырлық көрсеткіші қозғалтқыш отынында маңызға ие болып табылады. Тұтқырлық отынның сорылуын ғана емес, сонымен бірге отын жабдықтары жұмысына және отынның жану камерасына себілуіне де байланысты болады, бұл тұтас алғанда жұмыс барысының жүруіне үлкен ықпал етеді. Тұтқырлық, бұл сұйықтық қабаттары арасындағы ішкі үйкеліс, оның аймақтағы жылдамдығының төмендеуін сипаттайтын көрсеткіш. Ол үшін құрамдас бөліктердің тұтқырлық мәндерінің үшінші дәрежесін қолданамыз. Эмпирикалық теңдеу келесі түрде болады[1],[3]:

$$\mu_{кс}^{1/3} = x_1\mu_1^{1/3} + x_2\mu_2^{1/3} \tag{10}$$

мұндағы, x_1 және x_2 - қоспа бөліктерінің мольдік үлестері.

Қоспа тұтқырлығын анықтауға Аррениус ұсынған эмпирикалық теңдеуді пайдалануға болады[1],[4]:

$$\lg \mu_{кс} = x_1 \lg \mu_1 + x_2 \lg \mu_2 \tag{11}$$

Сонымен қатар, қоспа тұтқырлығын анықтауға Зданович ұсынған теңдік те белгілі[1],[4]:

$$\mu_{кс} = \frac{x_1\rho_1 + x_2\rho_2}{x_1 \frac{\rho_1}{\mu_1} + x_2 \frac{\rho_2}{\mu_2}} \tag{12}$$

мұндағы, x_1 және x_2 – қоспа компоненттерінің көлемдік үлестері.

Аралас отын тұтқырлығын анықтау үшін біркелкі әдіс болмағандықтан, аталған жұмыста дизель отыны мен диметил эфирі қоспасының тұтқырлығын жоғарыда келтірілген әдістерге сәйкес теориялық есептеу арқылы жүргізілді [1],[6].

Қоспа тығыздығы.

Қоспаның тығыздығы, диметил эфирінің көлемі артқан сайын, сызықтық түрде төмендейді. Отын тығыздығының төмендеп кетуі артық ауа коэффициентінің жоғарылап кетуіне әкеледі, себебі отын көлемдік көрсеткіштермен мөлшерленеді және дизель отынына қарағанда араласқан отынның салмақтық шығыны төмен болады. Дегенмен, құрамында 30 пайызға дейін диметил эфиріне ие отын тығыздығы дизель отынына рұқсат етілген шектен аспайтындығын атап өткеніміз жөн[1],[6].

Отынның фракциялық құрамы.

Диметил эфирін дизель отынына қосу қоспа отынының фракциялық құрамын кеңейтті. Қоспаның орташа температурасын анықтауға сипаттамалық факторды пайдаланамыз,

$$K_T = \frac{1,216\sqrt[3]{T_{op}}}{d_{15}^{15}}, \quad K_T \approx 11 \dots 12 \text{ аралық диапазонда өзгертіндігін көруге болады. Мұндағы } d_{15}^{15}$$

– салыстырмалы тығыздық ($t=15^\circ\text{C}$ жағдайында отын тығыздығы, $t=15^\circ\text{C}$ жағдайындағы судың тығыздығына пара-пар). Бұл есептеулерде K_T мәнін есептеуде отынның тығыздығы p кезінде $t=20^\circ\text{C}$ пайдаланылды. Диметил эфирі мен жазғы дизель отыны үшін K_T мәні сәйкесінше 11,95 және 11,58 деп аламыз. Аралас отынның мәнін K_T аддитивті заңға сай өзгереді деп қабылдауымыз керек,

$$K_{Tкс} = \varphi K_{TДМЭ} + (1 - \varphi) K_{TДО} \text{ одан соң аралас отынның орташа температурасын есептейміз,}$$

$$T_{op} = \left(\frac{K_{Tкс} \rho_{см}}{1,216} \right)^3 \tag{1} \text{ , [5].}$$

Нәтижелер мен талқылаулар

Кесте 3 - Қоспа мен дизель отынының негізгі сипаттамалары

Отынның сипаттамасы	5% ДМЭ+ ДО	10% ДМЭ+ ДО	20% ДМЭ+ ДО	30% ДМЭ+ ДО	40% ДМЭ+ ДО	50% ДМЭ+ ДО	ДО
---------------------	------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	----

gc	0,856	0,838	0,803	0,768	0,733	0,698	0,873
gH	0,127	0,127	0,128	0,128	0,128	0,129	0,127
go	0,017	0,035	0,069	0,104	0,139	0,174	
ρ, 20°C, кг/м³	831	822	804	786	768	750	840 860
ЦС	46,10	46,23	46,46	46,91	47,25	47,48	41
H, кДж/кг	42,61	41,82	40,24	38,66	37,08	35,5	42,5
L	14,32	14,04	13,48	12,92	12,36	11,8	14,6
α	2,976	2,979	2,985	2,992	3,000	3,008	2,973
μ 20°C, кг / (мс)	2,650	1,878	1,083	0,707	0,501	0,378	3-6
P20°C (40°C), МПа	0,0981	0,1704	0,2391	0,3359	0,3823	0,4169	0,003
T	542,11	522,25	484,15	448,14	414,14	382,08	562

Кестедегі мәліметтерге сүйене отырып, диметил эфирі үлесінің артуымен араласқан отынның қарапайымдылық құрамы да өзгереді. Бір уақытта оттегінің үлесі жоғарылап және көміртегі үлесі төмендегенде сутегінің мәні өзгермейді. С:Н қатынасы отын үшін 6,74 мәнінен 5 пайызға диметил эфирінен 50 пайыз, диметил эфирі үшін 5,41 диметил эфиріне дейін азаяды (ДТ үшін 6,87), ал С:О қатынасы осы отында 50,35 – 4,01 дейін өзгереді. Бұл құрамында диметил эфирі көптеген аралас отындарда қозғалтқыштың жұмысы кезінде күйе шығарындыларының біршама төмендеуін болжайды [1].

Қорытынды

Құрамында 30 пайызға дейінгі диметил эфирі бар қоспа отындардың тұрақтылық шамасы оларды іс жүзінде пайдалануға жеткілікті. Қаныққан булардың жоғарыланған қысымы мен тұтқырлықтың төмендеуі шамасы стандартталған жанармай жабдықтарын жаңартпай-ақ осы отынды пайдаланудағы қиыншылықтарды алдын-ала анықтауға болады. Дәстүрлі дизель отынымен салыстырсақ: қоспаға арналған бұркудің оңтайлы озу бұрышы бір шама төмендеуі болады, жоғары цетанның санына орай, аралас отынның молекула құрылымы және өздігінен тұтану температурасы төмен болады, аралас отын жұмыс барысында тұтанудың кідірісі төмен болады [1].

Әдебиетер тізімі

1. Торебекова С.О. Баламалы энергия көздерін пайдалану арқылы дизельді қозғалтқыштың экологиялық көрсеткіштерін жақсарту. Магистрлік диссертация / Нұр-Сұлтан, ЕҰУ, 2021.
2. Ишханян А.Э. Улучшение экологических показателей дизелей путем использования в качестве топлива диметилового эфира: дисс. кан. техн. наук./А.Э. Ишханян -М., МАДИ (ТУ), 2004.
3. Камфер Г.М. Научные основы эффективного применения топлив различного состава в автотракторных дизелях / Г.М.Камфер-М., МАДИ (ТУ), 2004.
4. Камфер Г.М. Расчетная оценка цетановых чисел спирто-топливных смесей / Г.М. Камфер, А.К. Болотов, С.А. Плотников // С научных трудов МАДИ. Улучшение показателей работы автомобильных и тракторных двигателей. -М.: Издание МАДИ.-1990.-203 с.
5. Камфер Г.М. Расчет периода задержки воспламенения в дизелях с объемно-пристеночным смесеобразованием / Г.М.Камфер, В.П.Назаров, И.Ш.Аднан //Рабочие процессы

автотракторных двигателей и их агрегатов.-М.: МАДИ, 1983.-143 с.

6. Kapus P., Cartellieri W. ULEV Potential of a DI/TCI Diesel Passenger Car Engine Operated on Dimethyl Ether // SAE Paper 952754. 1995.11 p.

А.А. Каражанов¹, Ж.Р. Алипбаев¹, У.Ш. Кокаев¹, А.Б. Забиева¹, С.О. Торбекова²

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

²Высший колледж транспорта и коммуникаций, Астана, Казахстан

Основные свойства смесового топлива (дизельное топливо + диметиловый эфир) и теоретическая оценка влияния смеси диметилового эфира на показатели работы дизельного двигателя

Аннотация. В работе проведен физико-химический анализ альтернативных видов топлива, из которых был выбран диметиловый спирт. Для оценки основных свойств смесового топлива (ДТ + ДМЭ) и влияния добавки диметилового эфира на показатели работы дизельного двигателя проведен ряд теоретических расчетов. Для более полной оценки влияния смешанного топлива на работу двигателя были использованы методы регрессионного моделирования. Расчет коэффициентов регрессии производился на ПЭВМ с помощью пакета прикладных программ MATLAB. Проведенные теоретические расчеты и математическое моделирование показали, что добавление 30% диметилового эфира в дизельное топливо является наиболее эффективной долей смеси для снижения экологических показателей дизельных двигателей.

Ключевые слова: цетановое число, вязкость, стехиометрический состав, плотность, фракционный состав, теплота сгорания, элементарный состав.

A. Karazhanov¹, Zh. Alipbayev¹, U. Kokaev¹, A. Zabiyeva¹, S. Torebekova²

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

²Graduate College of Transport and Communications, Astana, Kazakhstan

Basic properties of mixed fuel (diesel fuel+dimethyl ether) and a theoretical assessment of the effect of a mixture of dimethyl ether on the performance of a diesel engine

Abstract. In the work, there was carried out a physical and chemical analysis of alternative fuels, from which there was selected dimethyl alcohol. A number of theoretical calculations were carried out to evaluate the main properties of the mixed fuel and the effect of the addition of dimethyl ether on the performance of the diesel engine. For a more complete assessment of the effect of mixed fuel on engine performance, there were used regression modeling methods. The regression coefficients were calculated on a PC using the MATLAB application software package. Theoretical calculations and mathematical modeling have shown that the addition of 30% dimethyl ether to diesel fuel is the most effective part of the mixture to reduce the environmental performance of diesel engines.

Key words: cetane number, viscosity, stoichiometric composition, density, fractional composition, heat of combustion, elementary composition.

References

1. S. Torebekova. Improving the environmental performance of a diesel engine using alternative energy sources. Master's dissertation / Nur-Sultan., ENU, 2021.
2. Ishkhanyan A.E. Improving the environmental performance of diesel engines by using dimethyl ether as a fuel: Thesis of the candidate of technical sciences./ Ishkhanyan A.E. -М., MADI (TU), 2004.

3. Kamfer G.M. Scientific foundations for the efficient use of fuels of various compositions in automotive diesel engines / Kamfer G.M. -M., MADI (TU),2004.

4. Kamfer G.M. Estimated estimate of cetane numbers of alcohol-fuel mixtures / G.M. Kamfer, A.K. Bolotov, S.A. Plotnikov // From the scientific works of MADI. Improving the performance of automobile and tractor engines. -M.: Edition MADI.-1990.-pp. 203.

5. Kamfer G.M. Calculation of the ignition delay period in diesel engines with volume-wall mixture formation / G.M. Kamfer, V.P. Nazarov, I.Sh. Adnan // Working processes of autotractor engines and their units.-M.: MADI, 1983.- pp.143.

6. Kapus P., Cartellieri W. ULEV Potential of a DI/TCI Diesel Passenger Car Engine Operated on Dimethyl Ether // SAE Paper 952754. 1995.11 p.

Авторлар туралы мәлімет:

Каражанов А.А. – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Алипбаев Ж.Р. – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Кокаев У.Ш. – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Забиева А.Б. – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Торбекова С.О. – техника ғылымдарының магистрі, Жоғары көлік және коммуникация колледжі, Астана, Қазақстан.

A. Karazhanov – candidate of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Zh. Alipbayev– candidate of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

U. Kokaev – candidate of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

A. Zabiava – candidate of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

S. Torebekova – master of technical sciences, Higher College of Transport and Communications, Astana, Kazakhstan.

К.Т. Шеров^{1*}, Т.Г. Насад², Н.Б. Абишева³,
А.Б. Есиркепова³, А.Б. Ержанова¹, К.И. Имашева³

¹Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

²Саратовский государственный технический университет им. Ю. Гагарина, Саратов, Россия

³Казахандинский технический университет им. А. Сагинова, Караганда, Казахстан

(E-mail: shkt1965@mail.ru, tgnas@mail.ru, batyrbekovna.nazerke@gmail.com, bopany@mail.ru, erjanova_akbota@mail.ru, imasheva-gulzhan@mail.ru)

Исследование технологической возможности способа сварки трением разнородных материалов

Аннотация. В данной статье приводятся результаты исследования зарубежных ученых по изучению технологической возможности способа сварки трением разнородных материалов, а также информация о научно-исследовательских работах авторов по созданию ресурсосберегающей, универсальной и доступной технологии сварки трением разнородных материалов для отечественных машиностроительных производств. Результаты исследования работ зарубежных ученых показали, что способ сварки трением разнородных материалов является актуальным и обладает широкой технологической возможностью. Также выявлено, что данный способ в условиях отечественных машиностроительных производств не применяется. Установлены предполагаемые причины такого состояния проблемы. Учитывая все недостатки и факторы, выявленные в ходе исследования существующих способов сварки трением разнородных материалов, авторы проводят научные исследования, направленные на создание новой разновидности данного способа. Для реализации способа сварки трением разработана конструкция специального устройства и изготовлен опытный образец для проведения экспериментальных исследований. Описаны процессы сварки трением арматурных стержней разных диаметров. Сообщено о том, что соединенные арматурные стержни прошли испытания на растяжение и разрыв в лабораторных условиях и в сертифицированном испытательном центре, результаты которых показали высокую прочность соединения. Разрыв стержней происходил не в сварных швах, а в основном металле.

Ключевые слова: сварка трением, разнородные материалы, разновидности сварки трением, прочность, растяжение, разрыв, арматурные стержни.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-63-73

Введение

Сварка трением - широко используемый метод сварки в твердом состоянии для соединения сходных или разнородных металлов. Сварка трением требует быстрого вращения одного компонента при высоких оборотах в минуту, а другой компонент приводится в соприкосновение при высоком давленииковки, чтобы деформироваться. Две детали вращаются в контакте, и в плоскости трения выделяется тепло, необходимое для сварки [1].

На рисунке 1 показаны разновидности сварки трением.



Рисунок 1. Разновидности сварки трением

Рассмотрим характеристику разновидностей сварки трением [1,2].

Линейная сварка трением. Как следует из названия, относительное перемещение между двумя компонентами по поверхности раздела является линейным в этой форме процесса сварки трением. Компоненты необходимо постоянно держать под давлением, поскольку при линейной сварке трением скорости значительно ниже.

Ротационная сварка трением. Ротационная сварка трением, также известная как спиновая сварка. Это наиболее часто используемый процесс среди всех других типов сварки трением, при котором один компонент вращается относительно другого, который неподвижен, для выработки необходимого тепла для процесса.

Сварка трением с прямым приводом. Также известный как непрерывный привод, патрон постоянно приводится в движение приводным двигателем на этапах нагрева. Затем прикладывается соответствующее кузнечное давление и достигается сварка.

Инерционная сварка трением. Процесс аналогичен сварке трением с прямым приводом, но, кроме того, в этом типе сварки дополнительно используется маховик. Необходимая кинетическая энергия накапливается при вращении маховика до фиксированной частоты вращения. Затем привод отсоединяется, а кинетическая энергия передается на вращающуюся деталь. Таким образом, необходимая энергия для сварки деталей обеспечивается кинетической энергией машины, которая накапливается во вращающейся системе.

Сварка трением с перемешиванием. Требуемое пластифицированное состояние материала достигается другим способом при сварке трением с перемешиванием. Неплавящийся вращающийся инструмент, представляющий собой штифт или шуп, прижимается к свариваемым деталям под давлением. Пластически деформированный материал образуется из-за трения между инструментом и материалами, с которыми он контактирует. Когда инструмент движется вдоль линии соединения, он механически перемешивает два материала, и приложенное механическое давление куёт горячий и размягченный металл.

Фрикционная наплавка. Это технология, полученная в результате сварки трением для нанесения слоя материала покрытия на заготовку с целью улучшения свойств, лежащей под ней металлической поверхности. Твердый расходный стержень втирается под давлением в поверхность основного материала для получения покрытия. На краю расходного стержня образуется пластифицированный слой, в результате чего расходный материал осаждается на материал.

Для определения степени изученности и технологической возможности технологии сварки трением разнородных материалов исследуем работы зарубежных ученых.

В работе [3] исследовано соединение разнородного металла титана (Ti) с нержавеющей сталью 304L (SS), который имеет важное значение в ядерной промышленности для растворения

отработанного топлива.

Выявлено, что сварка трением титана Ti с нержавеющей сталью 304L приводит к более прочному сварному шву, в котором происходит разрушение основного металла титана во время испытаний на растяжение. Однако соединения обладают почти нулевой пластичностью при изгибе, что объясняется образованием интерметаллидов из-за механического легирования, деформационного упрочнения Ti вблизи границы раздела соединений и остаточных напряжений. Подробно описаны результаты механического испытания, анализа микроструктуры с использованием оптической и сканирующей электронной микроскопии.

В работе [4] выполнены экспериментальные исследования по соединению разнородных материалов, а именно: аустенитной нержавеющей стали (AISI 304 L) и меди. Были соединены образцы диаметром 24 мм и длиной 75 мм.

Для определения прочности сварного соединения проведено испытание на растяжение и определена твердость в основном металле и в зоне термического влияния. Отмечено, что в области соединения образовался интерметаллический слой из-за высокого времени трения, который способствовал уменьшению прочности связи между металлами. Однако при этом установлено, что прочность сварного соединения на растяжение выше, чем у исходного материала из меди на 2,52%.

В работе [5] разработана и изготовлена экспериментальная установка для сварки трением заготовок одинакового диаметра. Установка была спроектирована как непрерывный привод, и переход от стадии трения к стадииковки может осуществляться автоматически. В экспериментах использовалась быстрорежущая сталь (HSS-S 6-5 2) и среднеуглеродистая сталь (AISI 1040). Соединения подвергались послесварочному отжигу при 650°C в течение 4 ч. Установлены оптимальные параметры сварки для соединений. Прочность соединений определена путем испытаний на растяжение, усталость и ударную вязкость, а результаты были сопоставлены с прочностью материалов на растяжение. Также приводятся результаты исследования изменения твердости и микроструктуры в послесварочных соединениях.

В работе [6] исследовано сварное соединение трением между алюминиевым сплавом 6061-T6 и сталью AISI 1018. Для создания соединения между этими двумя материалами использована инерционная сварка трением. В экспериментах использовались стержни диаметром 12,5 мм, и стержни были обрезаны соответственно длине, подходящей для инерционной сварки трением. В ходе экспериментов менялось только давлениековки и была получена максимальная прочность 250 МПа для более высокого значения давленияковки. Выявлено, что более высокое давлениековки является выгодным для улучшения прочности соединения. Установлены оптимальные режимы: скорость вращения - 4200 оборотов в минуту, давление трения - 23 МПа, время трения - 1 секунда, времяковки - 5 секунд, давлениековки - 60 МПа.

В работе [7] с использованием схемы экспериментов Тагучи проведены исследования процесса сварки трением алюминиевого сплава 6082 T6 и меди. Для соединения использованы образцы диаметром 12 мм. Были изменены три параметра, а именно: давление трения, давление опрокидывания и время трения. Выявлено, что давление опрокидывания оказывает основное влияние на прочность соединения, за которым следуют время трения и давление трения. Было обнаружено, что оптимальными условиями являются давление трения и давление опрокидывания (43.6 МПа), время трения (50 секунд) и время опрокидывания (2 секунды).

В работе [8] исследован процесс сварки трением двух разнородных материалов - мягкой стали и алюминия. При сварке один из стержней закрепляется неподвижно, второй вращается под воздействием осевой нагрузки и создает тепло от трения на границе раздела.

В исследовании дана оценка механическим свойствам сварных стержней из мягкой стали и алюминия, чтобы понять тепловые эффекты. Был использован явный одномерный метод конечных разностей для аппроксимации распределения температур нагрева и охлаждения соединения. Обнаружено, что тепловые эффекты сварки трением привели к снижению твердости свариваемых материалов по сравнению с исходными материалами. Прочность на растяжение

сварных стержней ниже, чем у исходных стержней, из-за неполной сварки. Предварительные прогнозы были сопоставлены с фактическими данными термодары по сварным швам, выполненным в идентичных условиях, и было показано, что они хорошо согласуются. Метод конечных разностей, предложенный в этой работе, послужит руководством при разработке параметров сварного шва и позволит лучше понять процесс сварки трением.

В работе [9] рассмотрены свойства сварного соединения трением аустенитной нержавеющей стали 304 и среднеуглеродистой стали AISI 1040 и проведено сравнение свойств сварного шва с прослойкой и без нее при различных параметрах сварки.

Максимальная прочность была достигнута, когда в качестве промежуточного слоя использовался никель, что уменьшало образование интерметаллического соединения на границе раздела сварных швов. Оптимальными условиями были частота вращения (2200 об/мин), давление опрокидывания (1570 тонн) и длина прожига (8 мм).

В работе [10] исследован процесс сварки трением разнородных материалов низкоуглеродистой стали с нержавеющей сталью. Изучено изменение механических свойств при различных режимах сварки трением соединений низкоуглеродистой стали с нержавеющей сталью. Представлена информация о пределе текучести, пределе прочности при растяжении, процентном удлинении сварных соединений и изменениях твердости на границе раздела сварных швов. При исследовании качества сварных швов использована оптическая микроскопия и сканирующая электронная микроскопия.

В работе [11] проведено исследование способа сварки трением при соединении алюминия H30 и мягкой стали BS970. Используются образцы диаметром 8 мм и длиной 200 мм. Время выдержки и давление выдержки варьировались, сохраняя другие параметры процесса постоянными. Между образцами были сформированы четыре сварных соединения. Результаты исследования показали, что, когда время высадки и давление высадки были дополнительно увеличены сверх оптимального уровня, прочность соединения уменьшается и в конце концов разрушается. Определены оптимальные режимы сварки трением, которые составляли 200 МПа (давление опрокидывания) и 6 секунд (времяковки). Это было связано с тем, что между двумя материалами не было элементарной связи из-за высокого давленияковки.

В работе [12] исследован процесс соединения AA6061 и AISI 4340 посредством сварки трением с непрерывным приводом. Качество сварных швов определено с помощью металлографического исследования, рентгеноструктурного анализа, электронно-зондового микроанализа, испытаний на растяжение и микротвердости.

В эксперименте инициирована низкая длина выгорания, чтобы снизить подвод тепла, что приводит к сокращению времени для образования интерметаллидов. На стороне AISI 4340 был нанесен гальванический слой серебра толщиной 20 мкм. Установлено, что наличие серебряной прослойки повышает прочность и пластичность соединений.

Максимальный предел прочности при растяжении 240 МПа при относительном удлинении 4,9 % был получен для межслойных серебряных сварных швов из разнородных металлов.

В работе [13] приводятся результаты исследования сварного соединения трением между алюминиевым сплавом и мягкой сталью. Используются образцы диаметром 12 мм и длиной 75 мм. Эксперименты по сварке трением выполнялись на вертикально фрезерном станке, и в общей сложности было изготовлено восемь соединений путем изменения скорости вращения, длины выгорания и времени трения. Максимальная прочность была достигнута в образце, где все параметры имели более высокое значение. Было обнаружено, что длина выгорания и время трения в большей степени влияют на изменение прочности соединения, чем скорость вращения, которая, как было обнаружено, оказывает очень незначительное влияние на значения прочности при растяжении. Оптимальными условиями были: частота вращения - 1800 об / мин, длина прожига - 2,5 мм, время сварки - 30 секунд.

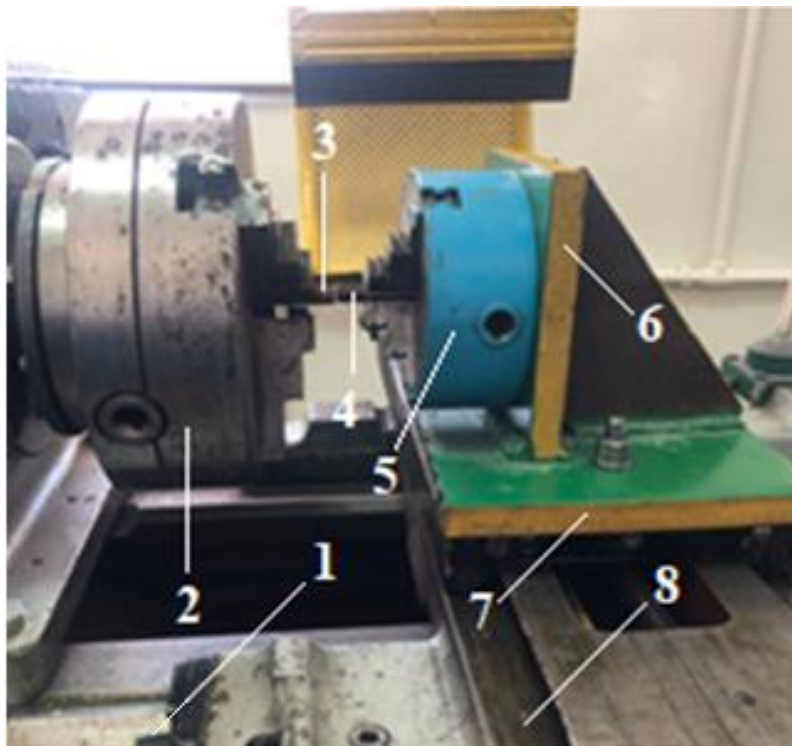
В работе [14] оценили прочность сваренных трением разнородных материалов Al 6061-T6 и AISI 304 с серебряной прослойкой или без нее. Ударный слой никеля сначала был нанесен на подложку из нержавеющей стали, которая затем была покрыта гальваническим покрытием с серебряными прослойками. Никелевый удар служил основой для последующего серебряного покрытия. Эксперимент проводился с изменяющимся давлением трения и другими параметрами, которые считались постоянными. Наибольшая прочность на разрыв была получена в сварных швах трением, где в качестве промежуточного слоя использовалось серебро, и прочность, как правило, увеличивается с увеличением значений давления трения.

Проведенные исследования показали, что рассматриваемый способ сварки трением широко исследуется зарубежными учеными и имеет актуальность для производства. Однако способ сварки трением в условиях машиностроительных заводов Республики Казахстан не нашел применения. Причиной этому могут быть следующие факторы: малоизученность способа сварки трением; отсутствие производства серийного (или массового) характера; нецелесообразность приобретения оборудования для сварки трением из-за высокой стоимости [15].

Основная часть

Для условий производств РК необходима разработка технологии сварки трением разнородных материалов отличающейся от существующих высоким качеством и производительностью, универсальностью, низкой себестоимостью, при этом конструкция используемого оборудования должна быть несложной и удобной в управлении.

Учитывая все недостатки и факторы, выявленные в ходе исследования существующих способов сварки трением разнородных материалов, авторами выполняются научные исследования, направленные на создание нового способа сварки трением разнородных материалов. Для реализации способа сварки трением разработана конструкция специального устройства [16] и изготовлен опытный образец для проведения экспериментальных исследований. На рисунке показано специальное устройство для сварки трением на базе токарного станка.



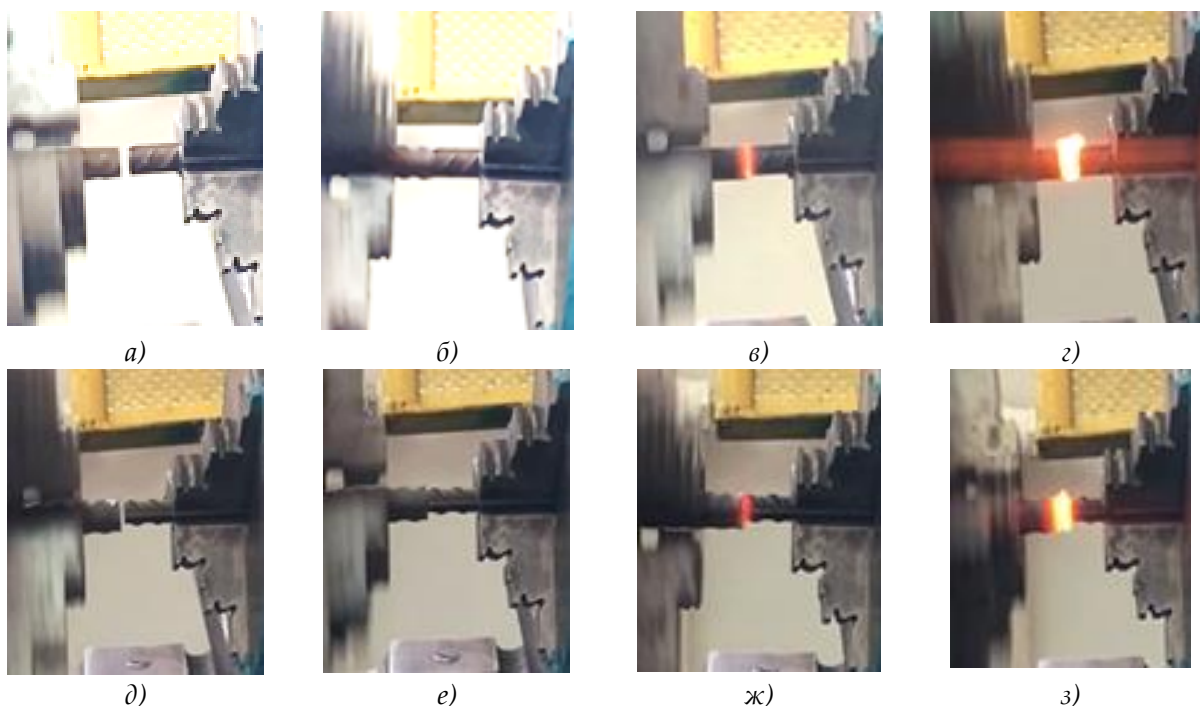
1 – токарный станок; 2 – трехкулачковый патрон токарного станка; 3,4 – инструментальные стержни; 5 –

трехкулачковый патрон устройства; 6 – кронштейн устройства; 7 – плита устройства; 8 – суппорт токарного станка

Рисунок 2. Специальное устройство для сварки трением на базе токарного станка

В лаборатории кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» КарТУ им. А. Сагитова под руководством профессора К.Т. Шерова были проведены серии экспериментальных исследований процесса сварки трением арматурных стержней различного диаметра [17,18].

На рисунке 3 показаны фотографии процесса сварки трением арматурных стержней.



а,б,в,г – последовательность выполнения процесса сварки трением арматурных стержней одинакового диаметра; д,е,ж,з - последовательность выполнения процесса сварки трением арматурных стержней разного диаметра

Рисунок 3. Фотографии процесса сварки трением арматурных стержней

Обсуждение

Для соединения сваркой трением в качестве заготовок использовались немерные отрезки арматурных стержней диаметрами 8 мм, 12 мм и 14 мм.

Заготовки закреплялись в трехкулачковых патронах токарного станка и специального устройства. В процессе сварки заготовка, закрепленная в трехкулачковом патроне станка, имеет вращательное движение, при этом вторая заготовка, закрепленная в трехкулачковом патроне устройства, неподвижна. Усилие при сварке трением осуществляется движением подачи устройства, закрепленного на суппорте токарного станка. При выполнении опытов частота вращения шпинделя станка варьировалась в диапазоне $n_{шп} = 685\div 2000$ об/мин. На рисунке 4 показаны некоторые арматурные стержни, соединенные сваркой трением.



Рисунок 4. Некоторые арматурные стержни, соединенные сваркой трением

Соединенные арматурные стержни прошли испытания на растяжение и разрыв в лабораторных условиях и в сертифицированном испытательном центре «Национальный центр экспертизы и сертификации» (г. Караганда, Казахстан). Результаты испытания показали высокую прочность соединения. Разрыв стержней происходил не в сварных швах, а в основном металле.

В настоящее время проводятся экспериментальные исследования процесса сварки трением цилиндрических заготовок из различных разнородных материалов (сталь+алюминий, сталь+чугун, чугун+титан, титан+сталь и др.).

Выводы

1. Выполнен обзор способа сварки трением разнородных материалов и исследованы степень его изученности, а также технологические возможности.

В частности, были исследованы работы зарубежных ученых, которые показали актуальность способа сварки трением не только для науки, но и для производства. Также необходимо отметить, что способ сварки трением, несмотря на высокие показатели качества, не нашел применения в отечественных производствах машиностроительной отрасли Республики Казахстан. Такое состояние проблемы диктует необходимость разработки более универсальной и доступной технологии сварки трением.

2. В лабораторных условиях были проведены экспериментальные исследования по соединению арматурных стержней способом сварки трением. Результаты показали, высокую прочность сварных соединений. При испытаниях разрыв стержней происходил не в сварных швах, а в основном металле.

Литература

1. Федосов С.А., Оськин И.Э. Основы технологии сварки: учебное пособие. 3-е изд., испр. - М.: Инновационное машиностроение, 2021. - 125 с.
2. Банов М.Д., Масаков В.В., Плюснина Н.П. Специальные способы сварки и резки. – М.: Академия, 2009. – 208 б.
3. H.C. Dey, M. Ashfaq, A.K. Bhaduri and K. Prasad Rao, Joining of titanium to 304L stainless steel by friction welding, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 209, Issues 18-19, September 2009, PP. 5862-5870.
4. C. Shanjeevi, S. Satish Kumar, and P. Sathiya, "Evaluation of Mechanical and Metallurgical Properties of Dissimilar Materials by Friction Welding". *International Conference on Design and Manufacturing*, 64, pp. 1514-1523, 2013.
5. Mumin Sahin. Joining with friction welding of high-speed steel and medium-carbon steel / *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 168, Issue 2, 30 (2005), Pages 202-210. DOI:
6. Emel Taban., Jerry E. Gould., & John C. Lippold, "Dissimilar Friction Welding of 6061-T6 Aluminium and AISI 1018 Steel: Properties and Microstructural Characterization." *Materials and Design* 31, pp. 2305-2311, 2010.

7. B. Jeslin, M. Deepak Kumar, and P. G. Venkatakrishnan, "Parameter Optimization on Friction Welding of Aluminium Alloy 6082T6 & Copper." International Journal of Innovative Research in Technology, 1(12), 2015, pp. 1547-1551.

8. Hazman Seli, Ahmad Izani Md. Ismail, Endri Rachman, Zainal Arifin Ahmad, Mechanical evaluation and thermal modeling of friction welding of mild steel and aluminum, Journal of Materials Processing Technology, Volume 210, pp. 1209-1216, March. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.03.007>

9. Jeswin Alphy James, and R. Sudhish, "Study on Effect of Interlayer in Friction welding for Dissimilar Steels: SS 304 and AISI 1040." Procedia Technology 25, pp. 1191-1198, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.238>

10. D. Ananthapadmanaban, V. Seshagiri Rao, Nikhil Abraham and K. Prasad Rao (2009) A study of mechanical properties of friction welded mild steel to stainless steel joints, Materials & Design, Volume 30, Issue 7, August, PP. 2642-2646. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.10.030>

11. P. Venkat Koushik, and D. Avinash, "Experimental Investigation of Friction Welding using Aluminium with Mild Steel." International Research Journal of Engineering and Technology, 3(12), pp. 680-685, 2016.

12. S. D. Meshram, and G. Madhusudhan Reddy, "Friction welding of AA6061 to AISI 4340 using silver interlayer." Defence Technology 11, pp. 292-298, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2015.05.007>

13. Sandeep Kumar, Rajesh Kumar, and Yogesh Kumar Singla (2012) To Study the Mechanical Behaviour of Friction Welding of Aluminium Alloy and Mild Steel. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, 1(3), pp. 43-50.

14. C. Maldonado, "Softened Zone Formation and Joint Strength properties in Dissimilar Friction welds." Journal of Materials science 37, pp. 2087-2095, 2002.

15. Yessirkepova A.B., Sherov K.T., Mikhailov V.F., Mazdubay A.V., Taskarina A.Zh. и др. Research of ways of connecting reinforced bars in the production of reinforced concrete products / Journal of Applied Engineering (JAES) Science, Vol. 18 No. 3 (2020) – P. 372-377. <https://doi.org/10.5937/jaes18-24319>

16. Шеров К.Т., Есиркепова А.Б., Иманбаев Е.Б., Ғабдысалық Р., Бузауова Т.М. и др. Устройство для сварки трением / Патент №4676 РК на полезную модель. Опубликовано 14.02.2020г. Бюл. №6.

17. Шеров К.Т., Есиркепова А.Б., Абишева Н.Б., Туреханов Б.Е. Арматуралық өзектердің қысқа кесінді қалдықтарын үйкеліспен дәнекерлеп біріктіру // Труды международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации», Часть 3. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2021. – С.1424-1426.

18. Sherov K.T., Serova R., Yessirkepova A, Mussayev M., Ashurova N., Mazdubai A., Okimbayeva A., Smailova B., Kassymbabina D. Laboratory tensile testing of unmeasurable parts of reinforcing bars joined by butt welding method / International Journal of GEOMATE, Sept. 2022, Vol.23, Issue 97, pp.196-202. DOI:

**К.Т. Шеров¹, Т.Г. Насад², Н.Б. Абишева³,
А.Б. Есиркепова³, А.Б. Ержанова¹, К.И. Имашева³**

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана, Қазақстан

²Ю. Гагарин атындағы Саратов мемлекеттік техникалық университеті, Саратов, Ресей

³А. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

Әр текті материалдарды үйкеліспен дәнекерлеу әдісінің технологиялық мүмкіндігін зерттеу

Аңдатпа. Бұл мақалада Әр текті материалдарды үйкеліспен дәнекерлеу әдісінің

технологиялық мүмкіндігін зерттеу бойынша шетелдік ғалымдардың зерттеу нәтижелері берілген. Сондай-ақ отандық машина жасау салаларына Әр текті материалдарды үйкеліспен дәнекерлеудің ресурсты үнемдейтін, әмбебап және қолжетімді технологиясын жасау бойынша авторлардың ғылыми-зерттеу жұмыстары туралы ақпарат жазылған. Шетелдік ғалымдардың жұмыстарын зерттеу нәтижелері әр текті материалдарды үйкеліспен дәнекерлеу әдісі өзекті және кең технологиялық мүмкіндікке ие екенін көрсетті. Сондай-ақ отандық машина жасау өндірісі жағдайында әр текті материалдарды үйкеліспен дәнекерлеу әдісі қолданылмайтыны анықталды. Мәселенің бұл жағдайының болжамды себептері анықталды. Әр текті материалдарды үйкеліспен дәнекерлеудің қолданыстағы әдістерін зерттеу барысында анықталған барлық кемшіліктер мен факторларды ескере отырып, авторлар әр текті материалдарды үйкеліспен дәнекерлеудің жаңа әдісін жасауға бағытталған ғылыми зерттеулерді жүзеге асырады. Үйкеліспен дәнекерлеу әдісін жүзеге асыру үшін арнайы құрылғының конструкциясы әзірленді және тәжірибелік зерттеулер үшін прототип жасалды. Өртүрлі диаметрлі арматураларды үйкеліспен пісіру процестері келтірілген. Қосылған арматуралардың зертханалық жағдайларда және сертификатталған сынақ орталығында созылу және үзілу сынақтарынан өткені, оның нәтижелері қосылыстың жоғары беріктігін көрсеткені хабарланады. Дайындамалардың жарылуы дәнекерленген тігістерде емес, негізгі металда болды.

Түйінді сөздер. үйкеліспен дәнекерлеу, әр текті материалдар, үйкеліспен дәнекерлеу түрлері, беріктік, созылу, үзілу, арматура.

К.Т. Sherov¹, Т.Г. Nasad², N.B. Abisheva³,

А.В. Esirkepova³, А.В. Yerzhanova¹, К.И. Imasheva³

¹S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, Kazakhstan

²Y. Gagarin Saratov State Technical University, Saratov, Russia

³A. Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Investigation of the technological feasibility of the method of friction welding of dissimilar materials

Abstract. This article presents the results of a study by foreign scientists on the study of the technological feasibility of the method of friction welding of dissimilar materials. As well as information about the research work of the authors on the creation of a resource-saving, universal and affordable technology for friction welding of dissimilar materials for domestic engineering industries. The results of the study of the work of foreign scientists showed that the method of friction welding of dissimilar materials is relevant and has a wide technological capability.

It was also found that there was not used method of friction welding of dissimilar materials in the conditions of domestic engineering industries. The article presents alleged causes of this state of the problem. Considering all the shortcomings and factors identified during the study of existing methods of friction welding of dissimilar materials, the authors carried out scientific research aimed at creating a new method of friction welding of dissimilar materials. To implement the friction welding method, a design of a special device was developed and a prototype was made for experimental studies.

The article considers processes of friction welding of reinforcing bars of different diameters. It is reported that the connected reinforcing bars have passed tensile and rupture tests in laboratory conditions and in a certified test center, the results of which showed a high strength of the connection. The rupture of the rods did not occur in the welds but in the base metal.

Keywords. friction welding, dissimilar materials, types of friction welding, strength, tension, rupture, reinforcing bars.

References

1. Fedosov S.A., Oskin I.E. Fundamentals of welding technology: a tutorial. 3rd ed., rev. - M.: Innovative engineering, 2021. - 125 p.
2. Banov M.D., Masakov V.V., Plyusnina N.P. Special methods of welding and cutting. - M.: Academy, 2009. - 208 p.
3. H.C. Dey, M. Ashfaq, A.K. Bhaduri and K. Prasad Rao, Joining of titanium to 304L stainless steel by friction welding, Journal of Materials Processing Technology, Volume 209, Issues 18-19, September 2009, PP. 5862-5870.
4. C. Shanjeevi, S. Satish Kumar, and P. Sathiya, "Evaluation of Mechanical and Metallurgical Properties of Dissimilar Materials by Friction Welding". International Conference on Design and Manufacturing, 64, pp. 1514-1523, 2013.
5. Mumin Sahin. Joining with friction welding of high-speed steel and medium-carbon steel / Journal of Materials Processing Technology, Volume 168, Issue 2, 30 (2005), Pages 202-210. DOI:
6. Emel Taban., Jerry E. Gould., & John C. Lippold, "Dissimilar Friction Welding of 6061-T6 Aluminium and AISI 1018 Steel: Properties and Microstructural Characterization." Materials and Design 31, pp. 2305-2311, 2010.
7. B. Jeslin, M. Deepak Kumar, and P. G. Venkatakrishnan, "Parameter Optimization on Friction Welding of Aluminium Alloy 6082T6 & Copper." International Journal of Innovative Research in Technology, 1(12), 2015, pp. 1547-1551.
8. Hazman Seli, Ahmad Izani Md. Ismail, Endri Rachman, Zainal Arifin Ahmad, Mechanical evaluation and thermal modeling of friction welding of mild steel and aluminum, Journal of Materials Processing Technology, Volume 210, pp. 1209-1216, March. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.03.007>
9. Jeswin Alphy James, and R. Sudhish, "Study on Effect of Interlayer in Friction welding for Dissimilar Steels: SS 304 and AISI 1040." Procedia Technology 25, pp. 1191-1198, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.238>
10. D. Ananthapadmanaban, V. Seshagiri Rao, Nikhil Abraham and K. Prasad Rao (2009) A study of mechanical properties of friction welded mild steel to stainless steel joints, Materials & Design, Volume 30, Issue 7, August, PP. 2642-2646. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.10.030>
11. P. Venkat Koushik, and D. Avinash, "Experimental Investigation of Friction Welding using Aluminium with Mild Steel." International Research Journal of Engineering and Technology, 3(12), pp. 680-685, 2016.
12. S. D. Meshram, and G. Madhusudhan Reddy, "Friction welding of AA6061 to AISI 4340 using silver interlayer." Defence Technology 11, pp. 292-298, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2015.05.007>
13. Sandeep Kumar, Rajesh Kumar, and Yogesh Kumar Singla (2012) To Study the Mechanical Behaviour of Friction Welding of Aluminium Alloy and Mild Steel. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, 1(3), pp. 43-50.
14. C. Maldonado, "Softened Zone Formation and Joint Strength properties in Dissimilar Friction welds." Journal of Materials science 37, pp. 2087-2095, 2002.
15. Yessirkepova A.B., Sherov K.T., Mikhailov V.F., Mazdubay A.V., Taskarina A.Zh. и др. Research of ways of connecting reinforced bars in the production of reinforced concrete products / Journal of Applied Engineering (JAES) Science, Vol. 18 No. 3 (2020) – P. 372-377. <https://doi.org/10.5937/jaes18-24319>
16. Sherov K.T., Esirkepova A.B., Imanbaev E.B., Gabdysalyk R., Buzauova T.M. and others. Device for friction welding / Patent No. 4676 of the Republic of Kazakhstan for a useful model. Published on 14.02.2020 Bull. No. 6.
17. Sherov K.T., Esirkepova A.B., Abisheva N.B., Turekhanov B.E. Connection of measured waste of reinforcing bars by friction welding // Proceedings of the international scientific and practical conference "Integration of science, education and production - the basis for the implementation of the

Plan of the Nation", Part 3. - Karaganda: Publishing House of KSTU, 2021. - P.1424-1426.

18. Sherov K.T., Serova R., Yessirkepova A., Mussayev M., Ashurova N., Mazdubai A., Okimbayeva A., Smailova B., Kassymbabina D. Laboratory tensile testing of unmeasurable parts of reinforcing bars joined by butt welding method / International Journal of GEOMATE, Sept. 2022, Vol.23, Issue 97, pp.196-202. DOI:

Сведения об авторах:

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

Насад Т.Г. – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Технология и системы управления в машиностроении» Саратовского государственного технического университета, ул. Политехническая, 77, Саратов, Россия

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

Есиркепова А.Б. – старший преподаватель кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» Карагандинского технического университета им. А. Сагинова, пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан.

Ержанова А.Б. – доктор Ph.D., старший преподаватель кафедры «Технологические машины и оборудование» Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина, пр. Женис, 62, Астана, Казахстан.

Имашева К.И. – старший преподаватель кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» Карагандинского технического университета им. А. Сагинова, пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан.

Sherov K.T. - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Technological Machines and Equipment", S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, 62 Zhenis ave., Astana, Kazakhstan.

Nasad T.G. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Technology and Control Systems in Mechanical Engineering", Saratov State Technical University, 77 Politekhnicheskaya st., Saratov, Russia

Abisheva N.B. - Doctoral student of the department "Technological equipment, mechanical engineering and standardization", A. Saginov Karaganda Technical University, 56 N. Nazarbaev ave., Karaganda, Kazakhstan.

Esirkepova A.B. - Senior Lecturer of the Department "Technological equipment, mechanical engineering and standardization", A. Saginov Karaganda Technical University, 56 N. Nazarbaev ave., Karaganda, Kazakhstan.

Erzhanova A.B. – Ph.D., Senior Lecturer of the Department of "Technological Machines and Equipment", S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, 62 Zhenis ave., Astana, Kazakhstan.

Imasheva K.I. - Senior Lecturer of the Department "Technological equipment, mechanical engineering and standardization", A. Saginov Karaganda Technical University, 56 N. Nazarbaev ave., Karaganda, Kazakhstan.

T.M. Inerbaev^{1,2} A.U. Abuova², A.K. Dauletbekova², F.U. Abuova^{2*}, B.Zhuman²

¹Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

(E-mail: fatika_82@mail.ru)

Electronic structure modification and negative magnetostriction in Fe-Ga alloy of D0₃ structure with Ga content variation

Abstract. The influence of a change in the Ga content on the magnetostrictive properties of the Fe₃Ga alloy with the D0₃ structure has been studied by density functional theory methods. The change in the stoichiometry of the alloy under study was carried out by replacing the Fe atoms with Ga. The replacement leads to a significant change in the electronic structure of the systems under study, which leads to a significant increase in the density of electronic states near the Fermi level. This effect leads to an increase in the magnetoelastic energy, which leads to an increase in the value of the magnetostrictive coefficient λ_{001} . A further increase in λ_{001} occurs due to a decrease in the shear modulus, which occurs due to an increase in the number of loosening bonds in the system with an increase in the Ga content. The resulting dependence of λ_{001} on the Ga content, although they show an increase in the absolute value of the coefficient λ_{001} , but give its negative values, in contrast to the positive value of magnetostriction observed in the experiment. Solving the problem of matching the sign of the theoretical and experimental values of the magnetostrictive coefficients requires further research.

Keywords: Fe-Ga alloy, electronic structure, density functional theory, magnetostriction, magnetoelastic energy.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-74-86

1. Introduction

Materials with high magnetostriction are widely used as magnetic field sensors, magneto-mechanical actuators, and energy collectors [1]. A significant magnetic field characteristic is needed [2]. Giant magnetostriction up to 2000 ppm was found in rare-earth iron-based alloys Terfenol and Terfenol-D [3,4]. However, the cost of these materials is high due to the use of rare earth elements. In addition, their hardness and brittleness are very high, limiting the materials' scope.

Binary Fe_{1-x}Ga_x alloys (Galfenol), although having inferior magnetostrictive properties to Terfenol-D, are attractive due to their low cost and high mechanical strength, low saturation magnetic field, excellent ductility, and low cost [5-7]. Fe_{1-x}Ga_x alloys demonstrate the two-peak tetragonal magnetostrictive coefficient λ_{001} behavior near $x = 0.19$ and $x=0.27$ with the value of the magnetostrictive coefficient as large as 400 ppm [8-10]. It was found experimentally that the peak magnetostriction values at 19% Ga is associated with maximum value of the magnetoelastic coupling constant as a function of the Ga concentration. The second magnetostriction peak can be attributed to softening of the elastic modules $d' = (c_{11} - c_{12})/2$ [6].

According to the phase diagram proposed by Koster et al. [11] and Kubashevski [12] and supported by Golovin et al. [13] the equilibrium structure of Fe-26.9Ga and Fe-25.5 Ga alloys at room temperature (RT) must be 100% L1₂ phase and about 90%L1₂ + 10%A2 phase respectively. Using high resolution neutron diffraction, it was proven that the initial state of FeGa functional alloys with 25 and 27 at. % Ga as-cast samples at room temperature is the D0₃ phase which results from ordering of the high temperature A2 phase during cooling. From the analysis of the diffraction peak widths, it was concluded that the initial state consists of domains of about 1400-1800 Å in size with long-range ordered D0₃ with lattice

parameters 5.8130 – 5.8172 Å [14]. Upon heating, there is an irreversible first-order phase transition from the metastable $D0_3$ to the equilibrium L_{21} phase [13,15,16]. A_2 and $D0_3$ – structured $Fe_{1-x}Ga_x$ alloys have positive magnetostriction, but the L_{21} -structured one has negative magnetostriction [13,14,17,18].

Studies of the magnetostriction and elastic properties of the Fe-Ga alloys with a Ga content of about 25 at. % showed that a small, within 25 at. %, change in the Ga content sharply affects the value of the magnetostriction coefficient and the elastic modulus c' [6,19,20]. If for the Fe-Ga alloy of structure $D0_3$ the measured value of the magnetostrictive coefficient $3/2 \lambda_{001}$ is 150 ppm ($\lambda_{001} = 100$) [14], then for the Fe-27.2Ga this value reaches 350 ppm [6,19]. According to the results of the theoretical modeling, the value $3/2 \lambda_{001}$ is negative and equals -161 ppm ($\lambda_{001} = -107 \text{ ppm}$) [21].

In this work, we study the effect of changing the gallium content in the Fe_3Ga alloy with the $D0_3$ structure on the magnetostriction coefficients λ_{001} . Calculations have shown that, at small changes in the composition of the compound under study near the Fermi level, there is a sharp increase in the number of d-states of Fe atoms, which leads to an increase in the magnetoelastic energy. Also an increase in the Ga content leads to an increase in the number of antibonding states, as a result of which the value of the shear modulus of elasticity c' decreases. Both effects leads to an increase in absolute value of λ_{001} . However, the difference in the sign of the calculated an experimental values of the magnetostriction coefficients remains unclear.

2. Computation Details

The $D0_3$ ($Fm\bar{3}m$, group 225) unit cell consist of three Fe and one Ga site (Fig. 1(a)). There are two types of Fe atoms: those with Fe and Ga atoms in nearest-neighboring positions (Fe1) and those with only Fe atoms in the nearest-neighboring positions (Fe2). The local order around the Fe1 and Fe 2 atoms is shown in Figs. 1 (b,c), correspondingly. A $2 \times 2 \times 2$ cubic supercell (128 atoms/cell) was used to model small chemical composition changes on the physical properties of compound under investigation.

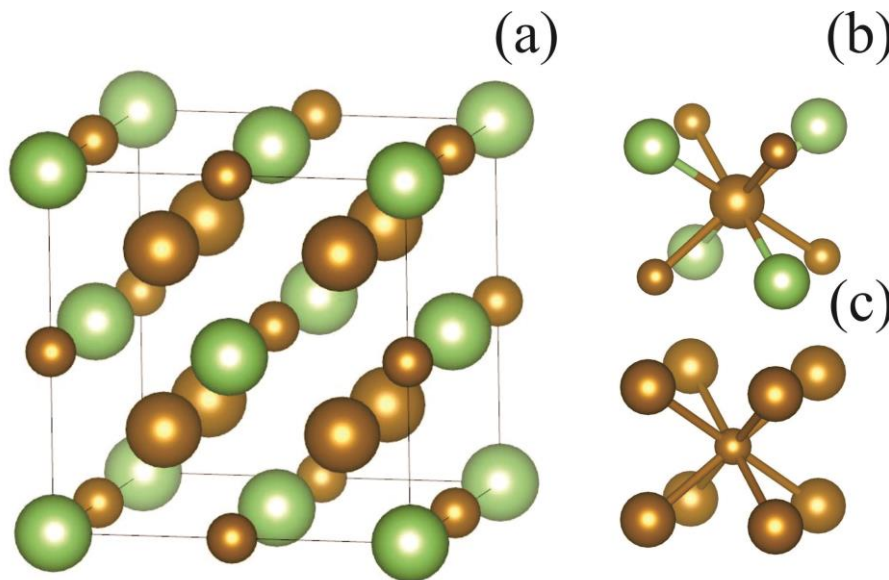


Figure 1. (a) Unit cell of the Fe_3Ga alloy with the $D0_3$ structure. Local environment of atoms of type (b) Fe1 and (c) Fe2. Golden and green balls represent Fe and Ga atoms, respectively. Large balls denote Fe1 atoms, and small balls – Fe2

The coefficient of tetragonal magnetostriction at volume-constant distortion ($\varepsilon_x = \varepsilon_y = -1/2\varepsilon_z$) Depends on the ratio of magnetoelastic energy b_1 and tetragonal shear modulus c' and is written as

$$\lambda_{001} = -\frac{b_1}{3c'} \quad (1)$$

where $b_1 = -\frac{2}{3V_0} \frac{dE_{MCA}}{d\epsilon_z}$ is determined by the dependence of the magnetocrystalline anisotropy energy E_{MCA} on distortion [22,23]. The elastic constants c_{11} and c_{12} were obtained by the stress-strain relation $\sigma_i = c_{ij}\epsilon_j$.

From the electronic structure, the enhancement of the magnetostrictive effect in Fe-Ga alloy is a high dependence of magnetocrystalline anisotropy energy (E_{MCA}) on the strain. The appearance of nonbinding d-states of electrons of Fe atoms near the Fermi level is accompanied by an increase in electronic density of states (DOS) of the Fe atoms closest to Ga, particularly from states in the minority spin channel. This effect ensures the growth of E_{MCA} on the one hand and a decrease in elastic moduli, on the other hand, increasing the overall magnetostrictive effect [24,25].

We recall that the spin-orbit coupling (SOC) is the key factor for E_{MCA} . The lowest order contribution of SOC toward the total energy is [26]

$$E^{SOC} = -\zeta^2 \sum_{o,u} \frac{[\langle o|\hat{\sigma}\rangle\hat{L}|u\rangle]^2}{\epsilon_u - \epsilon_o}, \quad (2)$$

where $|o\rangle$ and $|u\rangle$ represent the sets of occupied and unoccupied states, respectively. The nonzero contributions from the d-states to E^{SOC} are from the following matrix elements

$$\begin{aligned} \langle xy|\hat{L}_z|yz\rangle &= 1, \langle x^2 - y^2|\hat{L}_z|xz\rangle = 2, \langle z^2|\hat{L}_x|xz, yz\rangle = \sqrt{3}, \\ \langle xy|\hat{L}_x|xz, yz\rangle &= 1, \langle x^2 - y^2|\hat{L}_z|xz, yz\rangle = 1 \end{aligned}$$

The first-principles calculations of structural and magnetic properties of the Fe-Ga alloy systems were done by means of the VASP (Vienna Ab-initio Simulation Package) [27, 28] with the supercell approach. The exchange-correlation potential was treated by the generalized gradient approximation (GGA) in Perdew-Burke-Ernzerhof (PBE) form [29]. The k-point mesh was generated by the Monkhorst-Pack scheme [23] with a grid of 4x4x4 points. To describe electron-ion interactions, the PAW pseudopotentials [20, 21] were applied and the valence-electron configuration of Fe($3s^2 3p^6 3d^7 4s^1$) and Ga ($3d^{10} 4s^2 4p^1$) were selected. The value of the the plane-wave cut-off energy is 500 eV. Lattice parameters were relaxed to zero pressure while retaining the cubic symmetry. To obtain the ground structure, internal structure parameters were optimized until the remaining forces were less than 0.01 eV/Å. All calculations were done at T = 0 K.

Structures were visualized in the VESTA package [30]. We used the VASPKIT code for post-processing of the VASP calculated data [31].

3. Results and Discussion

The study of changing the chemical composition of the Fe₃Ga alloy of structure D0₃ towards an increase in the Ga content was carried out by replacing Fe atoms with Ga atoms. Calculations have shown that, with such a substitution, it is more energetically favorable to place an additional Ga atom at the Fe2 site than at the Fe1 site. The difference in the energies of the model supercells is 0.121 eV. This finding is consistent with the fact that gallium atoms in Fe-Ga alloys are not located at the nearest lattice sites, and the probability of finding gallium atoms at neighboring sites is negligible [22]. Further modeling of the properties of the compound under study was carried out for cases where Ga replaced the Fe2 atoms. We studied structures in which up to 3 Fe atoms were replaced, corresponding to the maximum Ga content of 27.35 at.%. The substitution was carried out so that the distances between the replaced atoms were maximum. As a result, the interatomic distances are no less than 7Å. In what follows, we consider configurations in which atoms of the Fe2 type are substituted unless otherwise noted.

The results of calculations of the magnetostriction coefficient λ_{001} in comparison with the experimental results are presented in Fig. 2. The obtained theoretical data are in good agreement with the measurement results and show a sharp increase in the value of λ_{001} with a slight change in the Ga content.

According to Eq. 1, an increase in λ_{001} is possible in the case of an increase in the magnetoelastic energy b_1 or a decrease in the value of the elastic modulus c' . Changes in both of these quantities as a function of the content of Ga atoms are shown in Fig. 3 comparing with available literature data [6, 19, 20, 32-34]. When one Fe2 atom is replaced in the perfect $D0_3$ structure, the magnetoelastic energy increases by factor two, which further decreases linearly with an increase in the Ga content (Fig.3 (a)). The theoretical data obtained predict the possibility of a second peak in the value of the magnetoelastic energy at a Ga content close to 25 at.%. In the experiment [6], one peak in $-b_1$ value was observed near 19 at.%Ga. However, it should be noted that this peak lies in a relatively narrow region of Ga concentration, which makes it difficult to detect it. In addition, and much more importantly, the calculated sign of b_1 is opposite to that measured experimentally but agrees with earlier calculations [21]. This difference is due to the sign of the derivative in Eq. 1.

The dependence of the elastic modulus c' on the Ga content is shown in Fig. 3 (b). When one Fe2 atom is replaced, the value of c' changes slightly. With a further change in the Ga content, this elastic modulus begins to decrease sharply, and at 27.35 at.% Ga, the structure becomes mechanically unstable due to the c' modulus turns to zero. In this case, to confirm the observed tendencies of c' change, we also performed additional calculations in which the Fe atom replaced the Ga atom, and Ga replaced four Fe2 atoms.

At a Ga content of 24-26 at.%, the calculated values of c' are in good agreement with the experimental data. As the Ga content increases, the discrepancy between theory and experiment becomes significant since the experiment did not reveal a decrease in the value of c' with a further increase in the Ga content. Stabilization of the $D0_3$ structure can occur by randomizing a small number of Ga atoms from their ordered lattice sites [25].

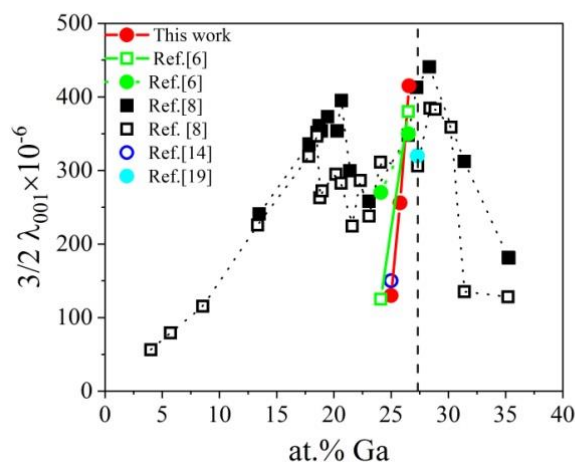


Figure 2. Calculated values of magnetostrictive coefficient λ_{001} along with the experimental data. It should be noted that the signs of the experimental and theoretically calculated values are different and here are the absolute values for the theoretically calculated values of λ_{001} . The dotted vertical line corresponds to the mechanical stability boundary of the $D0_3$ structure

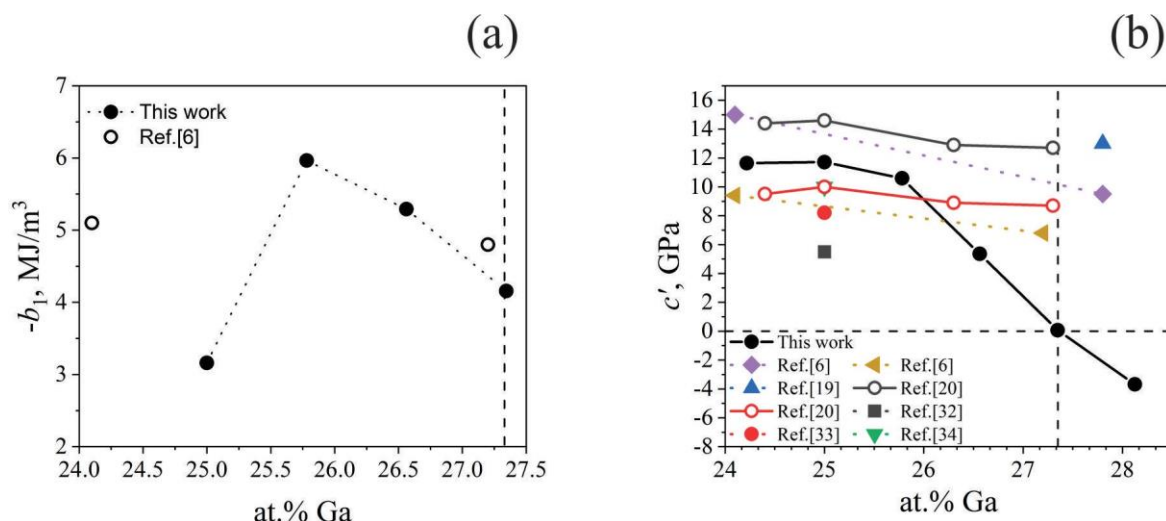


Figure 3. Calculated Ga-content dependent values of (a) magnetoelastic energy (with opposite sign) and (b) elastic modulus c' along with experimental data. The dotted vertical line corresponds to the mechanical stability boundary of the D0₃ structure

When Ga replaces one Fe2 atom, the increase in the value of λ_{001} occurs due to the rise in the value of the magnetoelastic energy $-b_1$. Further growth of λ_{001} occurs because the elastic modulus c' decreases. To study why the value of $-b_1$ increases, we compared the density of electronic states of a perfect lattice D0₃ and structures in which one Ga atom substitutes the Fe atom. The results obtained are shown in Figs. 4 (a,b). A comparison of projected DOS (PDOS) for d -states on Fe atoms of the perfect structure D0₃ and a cell with one substituted Fe atom shows that even such a slight variation in the composition of the alloy leads to significant changes in the electronic structure. The changes are extreme for spin-up states for both types of atoms - Fe1 and Fe2. PDOS for spin-down d -states on atoms of the Fe2 type almost does not change with a variation in the composition of the alloy.

The resulting changes in the electronic structure have a critical effect on the magnetic anisotropy energy. As follows from Eq. 2, the SOC depends on the matrix elements calculated between the states near the Fermi level. Thus, an increase in the density of d -states on Fe atoms leads to an increase in the magnetic anisotropy energy, which in turn leads to a rise in the value of λ_{001} .

It should be noted that the change in PDOS on Fe atoms has a nonlocal character. PDOS of d -states on atoms of the Fe2 type upon substitution of Fe1 (Fig. 4 (c)) and Fe2 (Fig. 4 (d)) with Ga atoms undergo significant changes independent of the distance from the substituted Fe atom. This effect is very different from the changes in PDOS with a modification in the chemical composition of a disordered FeGa alloy of the A2 structure. The changes concern only the Fe atoms of the impurity atom's first and second coordination shells [35]. Such a nonlocal nature of the effect on the electronic structure in the D0₃ lattice is due to long-range order. A change in the composition leads to delocalized electronic states on Fe atoms. In disordered alloys, such states are localized near the impurity atom.

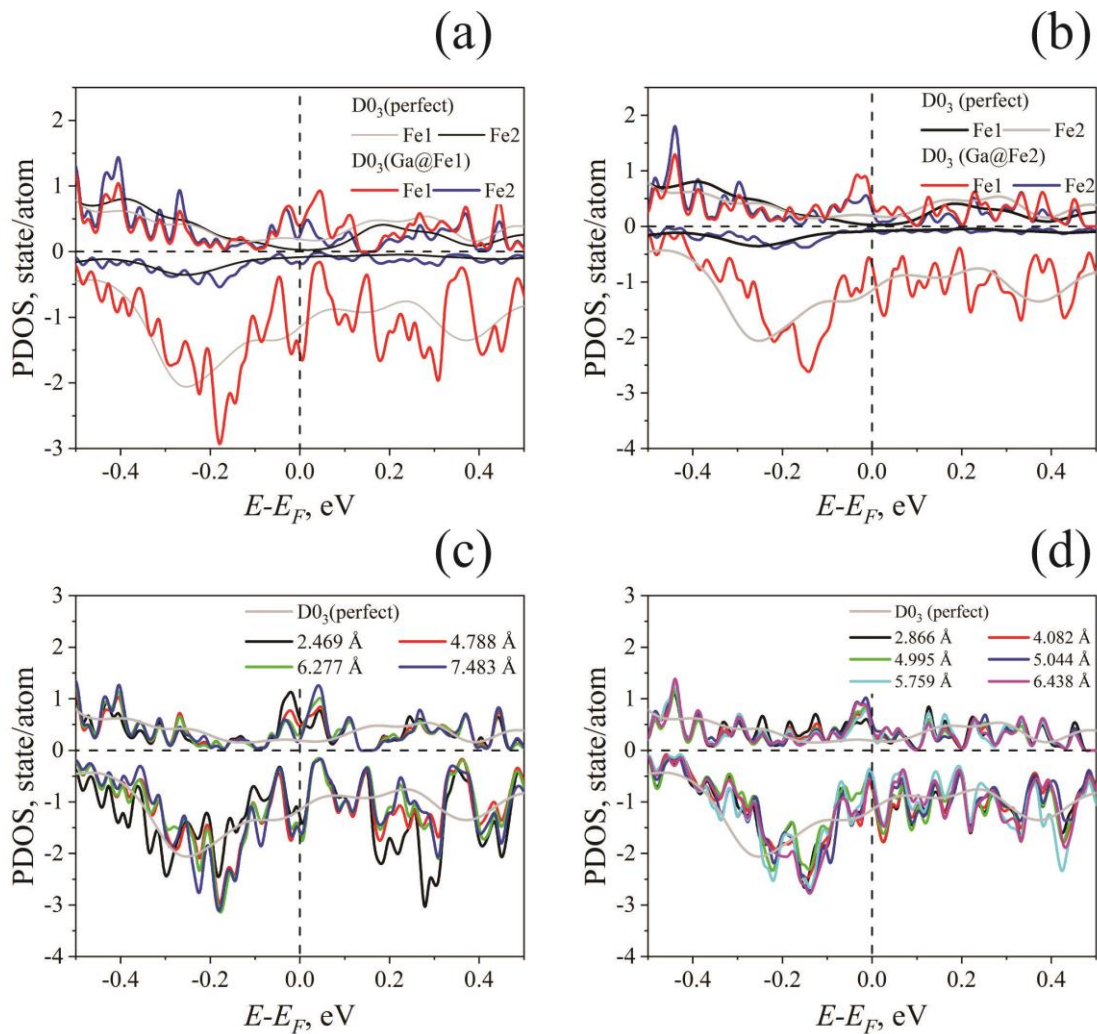


Figure 4. The projected density of states of d -electrons on Fe atoms when Ga replaces atoms of type (a) Fe1 and (b) Fe2 compared to the corresponding values for the perfect $D0_3$ structure. The distribution of densities of d -states on Fe1 atoms as a function of the distance from the Ga atom substituting for (c) Fe1 and (c) Fe2 atoms. Colored lines correspond to PDOS on Fe1 atoms at the indicated distances from the Ga atom substituting Fe

The fundamental difference lies in the fact that the density of antibonding d -states on atoms of the Fe1 type is much higher than on atoms of the Fe2 type [24, 25]. Ga content caused electronic structure modifications affecting spin-down electronic states contributed to changes in magnetostriction [22]. A quantitative description in Fig. 5 shows the number of electron states with spin down near the Fermi level of ± 0.2 eV, $N(\downarrow)$ on Fe atoms depending on the content of Ga atoms in the alloy. When one Fe2 atom is replaced, the value of $N(\downarrow)$ takes on a maximum value, which explains the peak in the value of the magnetoelastic energy shown in Fig. 3 (a). As the Ga content increases, the number of antibonding bonds in the system increases, which leads to a decrease in the elastic modulus c' , which corresponds to the instability of the crystal concerning shear distortions. (Fig. 3(b)). We attribute the decrease in the value of $N(\downarrow)$ to the violation of the coherence of electronic states due to Ga atoms replacing Fe atoms due to their random arrangement in the lattice. The value of $N(\downarrow)$, when replacing more than one Fe atom with a Ga atom and when replacing a Ga atom with Fe, takes values close to the maximum for the disordered Fe-20Ga alloy [22]. At the same time, this kind of disorder does not lead to any significant changes in the qualitative form of the PDOS graphs as it is seen in Fig. 6.

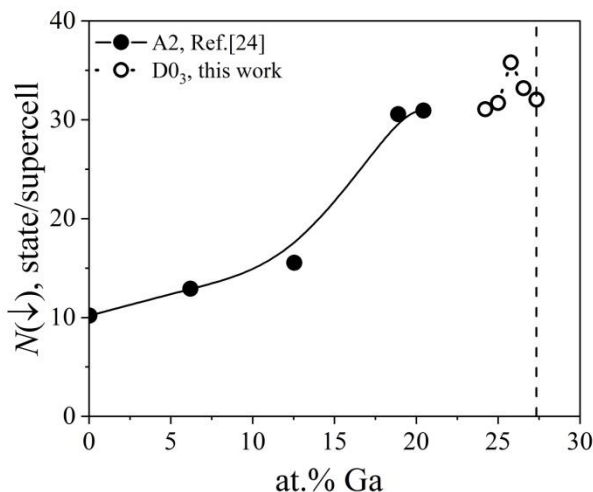


Figure 5. Calculated Ga-content dependent number of electronic states at the Fermi level in the minority spin channel, $N(\downarrow)$. The dotted vertical line corresponds to the mechanical stability boundary of the D0₃ structure

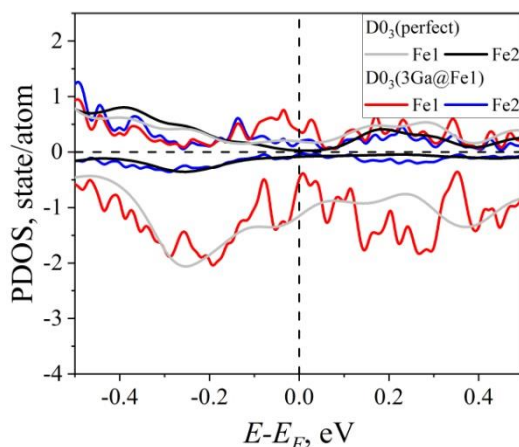


Figure 6. The density of states of d-electrons on Fe atoms for mechanically unstable Fe-27.35at.%Ga (three Ga replace atoms of Fe2 type) compared to the corresponding values for the perfect D0₃ structure

4. Conclusion

In this work, we study the effect of changing the stoichiometry of the D0₃ Fe₃Ga alloy on the electronic and elastic properties. The data obtained make allow to analyze the effect on the magnetostrictive properties of the considered compounds. Calculations showed that replacing a Fe atom with a Ga atom in the supercell of the D0₃ lattice leads to a significant change in the compound's electronic structure. As a result, the density of electronic d -states near the Fermi level increases, which leads to a rise in the magnetocrystalline energy. This effect leads to an increase in the magnitude of the magnetoelastic energy, but the value of the elastic modulus c' does not change, which leads to an increase in the magnetostrictive coefficient λ_{001} . The further increase in λ_{001} with increasing Ga content is due to a decrease in the elastic modulus c' with a slight reduction in the value of the magnetoelastic energy. The data obtained agree with the known experimental results. The data obtained agree with the known experimental results in absolute value but differ in the sign of the obtained values. We are currently searching for the reasons for this difference.

Acknowledgements

This work was performed under the grant project AP08855879 "First- principles design of effective magnetostriction materials for practical applications" for 2020-2022 by the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan.

References

1. A.E. Clark, K.B. Hathaway // Academic, San Diego. - 2000. - Ch. 1. - P. 1-48.
2. E. du Tremolet de Lacheisserie // Springer-Verlag, New York. - 2005. - P. 213-234.
3. F. Jerems, C.M. Mahon, A.G. Jenner, R.D. Greenough, Amorphous magnetic materials for transducers // Ferroelectrics. - 1999. - 228. -1. - P. 333-341. doi:<https://doi.org/10.1080/00150199908226146>.
4. J.D. Verhoeven, J.E. Ostenson, E.D. Gibson, O.D. McMasters, The effect of composition and magnetic heat treatment on the magnetostriction of TbxDy_{1-x}Fe_y twinned single crystals // Journal of Applied Physics. -1989. - 66. - 2. -P. 772 - 779. doi:<https://doi.org/10.1063/1.343496>.
5. J. Atulasimha, A. B. Flatau, A review of magnetostrictive iron-gallium alloys // Smart Materials and Structures. -2011. - 20. - 4. - 043001. doi:10.1088/0964-1726/20/4/043001.
6. A.E. Clark, K.B. Hathaway, M. Wun-Fogle, J.B. Restorff, T.A. Lograsso, V.M. Keppens, G. Petculescu, R.A. Taylor, Extraordinary magnetoelasticity and lattice softening in bcc Fe-Ga alloys // Journal of Applied Physics. - 2003. - 93. - 10. - P. 8621-8623. doi:10.1063/1.1540130.
7. A.E. Clark, J.B. Restorff, M. Wun-Fogle, T.A. Lograsso, D. L. Schlager, Magnetostrictive properties of body-centered cubic fe-ga and fe-ga-al alloys // IEEE Transactions on Magnetics. - 2000. - 36. - 5. - P. 3238-3240. doi:10.1109/20.908752.
8. Summers E.M., Lograsso T.A., Wun-Fogle M., Magnetostriction of binary and ternary Fe-Ga alloys // Journal of Materials Science. - 2007. - 42. -23. - P. 9582-9594. doi:<https://doi.org/10.1007/s10853-007-2096-6>.
9. Q. Xing, Y. Du, R. McQueeney, T. Lograsso, Structural investigations of fe-ga alloys: Phase relations and magnetostrictive behavior // Acta Materialia. - 2008. - 56. - 16. -P. 4536-4546. doi:<https://doi.org/10.1016/j.actamat.2008.05.011>.
10. A. Clark, M. Wun-Fogle, J. Restorff, K. Dennis, T. Lograsso, R. McCallum, Temperature dependence of the magnetic anisotropy and magnetostriction of Fe_{100-x}Ga_x (x=8.6, 16.6, 28.5) // Journal of Applied Physics. - 2005.- 97. - 10. 49th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Jacksonville, FL, NOV 07-11, 2004 (MAY 15 2005). doi:10.1063/1.1856731.
11. W. Koster, T. Godecke, Uber den aufbau des systems eisen-gallium zwischen 10 und 50 at.-abhängigkeit von der warmebehandlung // International Journal of Materials Research. - 1977. - 68. - 10. - P. 661-666. doi:doi:10.1515/ijmr-1977-681003
12. O. Kubaschewski, Iron-Binary phase diagrams // Springer Science & Business Media. - 2013.
13. I. Golovin, A. Balagurov, V. Palacheva, A. Emdadi, I. Bobrikov, V. Cheverikin, A. Prosviryakov, S. Jalilzadeh, From metastable to stable structure: the way to construct functionality in Fe-27Ga alloy // Journal of Alloys and Compounds. - 2018. - 751. - P. 364-369. doi:10.1016/j.jallcom.2018.04.127.
14. I.S. Golovin, A.K. Mohamed, V.V. Palacheva, V.V. Cheverikin, A. Pozdnyakov, V.V. Korovushkin, A.M. Balagurov, I.A. Bobrikov, N. Fazel, M. Mouas, J.-G. Gasser, F. Gasser, P. Tabary, Q. Lan, A. Kovacs, S. Ostendorp, R. Hubek, S. Divinski, G. Wilde, Comparative study of structure and phase transitions in Fe-(25-27)% Ga alloys // Journal of Alloys and Compounds. - 2019. - 811. - 152030. doi:10.1016/j.jallcom.2019.152030.
15. I. Golovin, A. Balagurov, I. Bobrikov, S. Sumnikov, A. Mohamed, Cooling rate as a tool of tailoring structure of Fe-(9-33%)Ga alloys // Intermetallics. - 2019. - 114. - 106610. doi:10.1016/j.intermet.2019.106610.

16. M.V. Matyunina, M.A. Zagrebin, V.V. Sokolovskiy, O.O. Pavluchkina, V.D. Buchelnikov, A.M. Balagurov, I.S. Golovin, Phase diagram of magnetostrictive Fe-Ga alloys: insights from theory and experiment // Phase Transitions.- 2019. - 92. - 2. -P. 101-116. doi:<https://doi.org/10.1080/01411594.2018.1556268>.
17. N. Srisukhumbowornchai, S. Guruswamy, Influence of ordering on the magnetostriction of Fe-27.5at.%Ga alloys// Journal of Applied Physics. - 2002. - 92. - 9. - P. 5371-5379. doi:<https://doi.org/10.1063/1.1508426>.
18. T. V. Jayaraman, R. P. Corson, S. Guruswamy, Ordering, magnetostriction, and elastic properties in Fe-27.5at.% Gaalloy single crystals // Journal of Applied Physics. - 2007. - 102. - 5. - 053905. doi:<https://doi.org/10.1063/1.2777155>.
19. G. Petculescu, K. L. Ledet, M. Huang, T. A. Lograsso, Y. N. Zhang, R. Q. Wu, M. WunFogle, J. B. Restorff, A. E. Clark, K. B. Hathaway, Magnetostriction, elasticity, and D 03 phase stability in Fe-Ga and Fe-Ga-Ge alloys // Jour- nal of Applied Physics. - 2011. - 109. - 7. - 07A904. arXiv:<https://doi.org/10.1063/1.3535444>, doi:10.1063/1.3535444. URL <https://doi.org/10.1063/1.3535444>
20. G. Petculescu, K. B. Hathaway, T. A. Lograsso, M. Wun-Fogle, A. E. Clark, Magnetic field dependence of galfenol elastic properties // Journal of Applied Physics. - 2005. - 97. - 10. - 10M315. doi:<https://doi.org/10.1063/1.1855711>.
21. R. Wu, Origin of large magnetostriction in FeGa alloys // Journal of Applied Physics. - 2002. - 91. - 10. - P. 7358-7360. doi:10.1063/1.1450791.
22. H. Wang, Y. N. Zhang, R. Q. Wu, L. Z. Sun, D. S. Xu, Z. D. Zhang, Understanding strong magnetostriction in fe100-xGax alloys // Scientific Reports. - 2013. - 3. -1. - P. 3521. doi:<https://doi.org/10.1038/srep03521>.
23. R. Wu, A. Freeman, Spin-orbit induced magnetic phenomena in bulk metals and their surfaces and interfaces // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. - 1999. - 200. - 1. - P. 498-514. doi:10.1016/S0304- 8853(99)00351-0.
24. R. Wu, Z. Yang, J. Hong, First-principles determination of magnetic properties // Journal of Physics: Condensed Matter. - 2003. - 15. - 5. - P. S587-S598. doi:<https://doi.org/10.1088/0953-8984/15/5/312>.
25. Y. Zhang, R.Wu, Mechanism of large magnetostriction of galfenol // IEEE Transactions on Magnetics. - 2011. - 47. - 10. - P. 4044-4049. doi:10.1109/TMAG.2011.2158202.
26. D.S. Wang, R. Wu, A.J. Freeman, First-principles theory of surface magnetocrystalline anisotropy and the diatomic-pair model // Phys. Rev. B. - 1993. - 47. - P. 14932-14947. doi:10.1103/PhysRevB.47.14932. URL <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevB.47.14932>
27. G. Kresse, D. Joubert, From ultrasoft pseudopotentials to the projector augmented-wave method // Phys. Rev. B. - 1999. - 59. - P. 1758-1775. doi:10.1103/PhysRevB.59.1758.
28. G. Kresse, J. Furthmuller, Efficient iterative schemes for ab initio total-energy calculations using a plane-wave basis set // Phys. Rev. B. - 1996. - 54. - P. 11169-11186. doi:10.1103/PhysRevB.54.11169.
29. J.P. Perdew, K. Burke, M. Ernzerhof, Generalized gradient approximation made simple [phys. rev.lett. 77, 3865 (1996)] // Phys. Rev. Lett. - 1997. - 78. - P. 1396-1396. doi:10.1103/PhysRevLett.78.1396.
30. K. Momma, F. Izumi, VESTA: a three-dimensional visualization system for electronic and structural analy- sis // Journal of Applied Crystallography. - 2008. - 41. - 3. - P. 653-658. doi:10.1107/S0021889808012016. URL <https://doi.org/10.1107/S0021889808012016>
31. V. Wang, N. Xu, J.C. Liu, G. Tang, W.-T. Geng, Vaspkit: A user-friendly interface facilitating highthrough- put computing and analysis using vasp code // Computer Physics Communications. - 2021. - 267. - P. 108033. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cpc.2021.108033>.
32. Y.N. Lin, L.L. Li, X.-H. Yan, Y.P. Zhang, D.Y. Zhang, P. Zhang, Elastic and thermodynamic proper- ties of Fe3Ga from first-principles calculations // Solid State Communications. -

2016. - 230. - P. 43-48. doi:10.1016/j.ssc.2015.12.008.

33. Y.N. Zhang, R.Q. Wu, H.M. Schurter, A.B. Flatau, Understanding of large auxetic properties of iron-gallium and iron-aluminum alloys // Journal of Applied Physics. - 2010. - 108. - 2. - 023513. arXiv:https://doi.org/10.1063/1.3445269, doi:10.1063/1.3445269. URL https://doi.org/10.1063/1.3445269

34. X. Yan, Y. Lin, L. Li, F. Sun, Temperature-dependent elastic and thermodynamic properties of Fe₃Ga (D0₃, L12, and D0₁₉) alloys from first-principles calculations // Physica status solidi (b). - 2016. - 253. - 11. - P. 2236-2244. doi:10.1002/pssb.201600314.

35. T.M. Inerbaev, A. Abuova, Y. Kawazoe, R. Umetsu, Local ordering and interatomic bonding in magnetostrictive Fe_{0.85}Ga_{0.15}X (X=Ni,Cu,Co,La) alloy // Computational Materials Science. - 2022. - 202. - 110934. doi:https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2021.110934.

Т.М. Инербаев^{1,2}, А.У. Абуова², А.К. Даулетбекова², Ф.У. Абуова², Б. Жуман²

¹Новосибирск мемлекеттік университеті, Новосибирск, Ресей Федерациясы

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Ga құрамының өзгеруімен D0₃ құрылымының Fe-Ga қорытпасындағы электронды құрылымның модификациясы және теріс магнитострикциясы

Аннотация. Ga құрамының өзгеруінің Fe₃Ga магнитостриктивтік қасиеттеріне әсері. Тығыздықтың функционалды теориясының әдістерімен D0₃ құрылымы бар қорытпа зерттелді. Зерттелетін қорытпаның стехиометриясының өзгеруі Fe атомдарын Ga-ға ауыстыру арқылы жүзеге асырылды. Ауыстыру зерттелетін жүйелердің электрондық құрылымының айтарлықтай өзгеруіне әкеледі, бұл Ферми деңгейіне жақын электрондық күйлердің тығыздығының айтарлықтай өсуіне әкеледі. Бұл әсер магнитті серпімділік энергиясының ұлғаюына әкеледі, бұл λ₀₀₁ магнитострикциялық коэффициентінің мәнінің жоғарылауына әкеледі. Ары қарай λ₀₀₁ ұлғаюы ығысу модулінің төмендеуіне байланысты болады, ол Ga құрамының ұлғаюымен жүйедегі бос байланыстар санының артуына байланысты болады. Нәтижесінде λ₀₀₁ -дің Ga мазмұнына тәуелділігі, ол λ₀₀₁ коэффициентінің абсолютті мәнінің жоғарылауын көрсетсе де, тәжірибеде байқалған магнитострикцияның оң шамасынан айырмашылығы оның теріс мәндерін береді. Магнитострикциялық коэффициенттердің теориялық және тәжірибелік мәндерінің белгісін сәйкестендіру мәселесін шешу қосымша зерттеулерді қажет етеді.

Түйін сөздер: Fe-Ga қорытпасы, электрондық құрылымы, тығыздықтың функционалды теориясы, магнитострикция, магнитті серпімділік энергиясы.

Т.М. Инербаев^{1,2}, А.У. Абуова², А.К.

Даулетбекова², Ф.У. Абуова², Б.Жуман²

¹Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Модификация электронной структуры и отрицательная магнитострикция в сплаве Fe-Ga структуры D0₃ с изменением содержания Ga

Аннотация. Влияние изменения содержания Ga на магнитострикционные свойства Fe₃Ga. Сплав со структурой D0₃ исследовался методами теории функционала плотности. Изменение стехиометрии исследуемого сплава осуществлялось заменой Fe атомов на Ga. Замена приводит к существенному изменению электронной структуры исследуемых систем, что приводит к значительному увеличению плотности электронного состояния вблизи уровня Ферми. Этот эффект приводит к увеличению магнитоупругой энергии, что приводит к

увеличению значения магнитострикционного коэффициента λ_{001} . Далее увеличение λ_{001} происходит за счет уменьшения модуля сдвига, которое происходит за счет увеличения числа рыхлых связей в системе с увеличением содержания Ga. Полученная зависимость λ_{001} от содержания Ga, хотя и показывает увеличение абсолютного значения коэффициента λ_{001} , дает его отрицательные значения, в отличие от положительной величины магнитострикции, наблюдаемой в эксперименте. Решение проблемы соответствия знака теоретических и экспериментальных значений магнитострикционных коэффициентов требует дальнейших исследований.

Ключевые слова: сплав Fe-Ga, электронная структура, теория функционала плотности, магнитострикция, магнитоупругая энергия.

References

1. E. Clark, K. B. Hathaway, Academic, San Diego, 1, 1 - 48 (2000).
2. E. du Tremolet de Lacheisserie, Springer-Verlag, New York, 213 - 234 (2005).
3. F. Jerems, C. M. Mahon, A. G. Jenner, R. D. Greenough, Amorphous magnetic materials for transducers, *Ferroelectrics*, 228 (1), 333 - 341 (1999). doi:<https://doi.org/10.1080/00150199908226146>.
4. J. D. Verhoeven, J. E. Ostenson, E. D. Gibson, O. D. McMasters, The effect of composition and magnetic heat treatment on the magnetostriction of TbxDy1xFey twinned single crystals, *Journal of Applied Physics*, 66 (2), 772 - 779 (1989). doi:<https://doi.org/10.1063/1.343496>.
5. J. Atulasimha, A. B. Flatau, A review of magnetostrictive iron-gallium alloys, *Smart Materials and Structures*, 20 (4), 043001 (2011). doi:10.1088/0964-1726/20/4/043001.
6. E. Clark, K. B. Hathaway, M. Wun-Fogle, J. B. Restorff, T. A. Lograsso, V. M. Keppens, G. Petculescu, R. A. Taylor, Extraordinary magnetoelasticity and lattice softening in bcc Fe-Ga alloys, *Journal of Applied Physics*, 93 (10), 8621-8623 (2003). doi:10.1063/1.1540130.
7. E. Clark, J. B. Restorff, M. Wun-Fogle, T. A. Lograsso, D. L. Schlager, Magnetostrictive properties of body-centered cubic fe-ga and fe-ga-al alloys, *IEEE Transactions on Magnetics*, 36 (5), 3238-3240 (2000). doi:10.1109/20.908752.
8. Summers E. M., Lograsso T. A., Wun-Fogle M., Magnetostriction of binary and ternary Fe-Ga alloys, *Journal of Materials Science*, 42 (23), 9582-9594 (2007). doi:<https://doi.org/10.1007/s10853-007-2096-6>.
9. Q. Xing, Y. Du, R. McQueeney, T. Lograsso, Structural investigations of fe-ga alloys: Phase relations and magnetostrictive behavior, *Acta Materialia*, 56 (16), 4536-4546 (2008). doi:<https://doi.org/10.1016/j.actamat.2008.05.011>.
10. Clark, M. Wun-Fogle, J. Restorff, K. Dennis, T. Lograsso, R. McCallum, Temperature dependence of the magnetic anisotropy and magnetostriction of Fe_{100-x}Ga_x (x=8.6, 16.6, 28.5), *Journal of Applied Physics*, 97 (10, 3), 49th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Jacksonville, FL, NOV 07-11, 2004 (MAY 15 2005). doi:10.1063/1.1856731.
11. W. Koster, T. Godecke, Uber den aufbau des systems eisen-gallium zwischen 10 und 50 at.-abhängigkeit von der warmebehandlung, *International Journal of Materials Research*, 68 (10), 661-666 (1977). doi:10.1515/ijmr-1977- 681003
12. O. Kubaschewski, *Iron-Binary phase diagrams*, Springer Science & Business Media, 2013.
13. Golovin, A. Balagurov, V. Palacheva, A. Emdadi, I. Bobrikov, V. Cheverikin, A. Prosviryakov, S. Jalilzadeh, From metastable to stable structure: the way to construct functionality in Fe-27Ga alloy, *Journal of Alloys and Compounds*, 751, 364-369 (2018). doi:10.1016/j.jallcom.2018.04.127.
14. S. Golovin, A. K. Mohamed, V. V. Palacheva, V. V. Cheverikin, A. Pozdnyakov, V. V. Korovushkin, A. M. Balagurov, I. A. Bobrikov, N. Fazel, M. Mouas, J.-G. Gasser, F. Gasser, P. Tabary, Q. Lan, A. Kovacs, S. Ostendorp, R. Hubek, S. Divinski, G. Wilde, Comparative study of structure and phase transitions in Fe-(25-27)% Ga alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, 811, 152030 (2019). doi:10.1016/j.jallcom.2019.152030.
15. Golovin, A. Balagurov, I. Bobrikov, S. Sumnikov, A. Mohamed, Cooling rate as a tool of tailoring structure of Fe-(9-33%)Ga alloys, *Intermetallics*, 114, 106610 (2019). doi:10.1016/j.intermet.2019.106610.

14. M.V. Matyunina, M.A. Zagrebin, V.V. Sokolovskiy, O.O. Pavluchina, V.D. Buchelnikov, A.M. Balagurov, I.S. Golovin, Phase diagram of magnetostrictive Fe-Ga alloys: insights from theory and experiment, *Phase Transitions*, 92 (2), 101-116 (2019). doi:<https://doi.org/10.1080/01411594.2018.1556268>.
15. N. Srisukhumbowornchai, S. Guruswamy, Influence of ordering on the magnetostriction of Fe-27.5at.%Ga alloys, *Journal of Applied Physics*, 92 (9), 5371-5379 (2002). doi:<https://doi.org/10.1063/1.1508426>.
16. T. V. Jayaraman, R. P. Corson, S. Guruswamy, Ordering, magnetostriction, and elastic properties in Fe-27.5at.% Ga alloy single crystals, *Journal of Applied Physics*, 102 (5), 053905 (2007). doi:<https://doi.org/10.1063/1.2777155>.
17. G. Petculescu, K. L. Ledet, M. Huang, T. A. Lograsso, Y. N. Zhang, R. Q. Wu, M. WunFogle, J. B. Restorff, A. E. Clark, K. B. Hathaway, Magnetostriction, elasticity, and D 03 phase stability in Fe-Ga and Fe-Ga-Ge alloys, *Journal of Applied Physics*, 109 (7), 07A904 (2011). arXiv:<https://doi.org/10.1063/1.3535444>, doi:10.1063/1.3535444. URL <https://doi.org/10.1063/1.3535444>
18. G. Petculescu, K. B. Hathaway, T. A. Lograsso, M. Wun-Fogle, A. E. Clark, Magnetic field dependence of galfenol elastic properties, *Journal of Applied Physics*, 97 (10), 10M315 (2005). doi:<https://doi.org/10.1063/1.1855711>.
19. R. Wu, Origin of large magnetostriction in FeGa alloys, *Journal of Applied Physics*, 91 (10), 7358-7360 (2002). doi:10.1063/1.1450791.
20. H. Wang, Y. N. Zhang, R. Q. Wu, L. Z. Sun, D. S. Xu, Z. D. Zhang, Understanding strong magnetostriction in Fe_{100-x}Ga_x alloys, *Scientific Reports*, 3 (1), 3521 (2013). doi:<https://doi.org/10.1038/srep03521>.
21. R. Wu, A. Freeman, Spin-orbit induced magnetic phenomena in bulk metals and their surfaces and interfaces, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 200 (1), 498-514 (1999). doi:10.1016/S0304-8853(99)00351-0.
22. R. Wu, Z. Yang, J. Hong, First-principles determination of magnetic properties, *Journal of Physics: Condensed Matter*, 15 (5), S587-S598 (2003). doi:<https://doi.org/10.1088/0953-8984/15/5/312>.
23. Y. Zhang, R. Wu, Mechanism of large magnetostriction of galfenol, *IEEE Transactions on Magnetics*, 47 (10), 4044-4049 (2011). doi:10.1109/TMAG.2011.2158202.
24. D.S. Wang, R. Wu, A. J. Freeman, First-principles theory of surface magnetocrystalline anisotropy and the diatomic-pair model, *Phys. Rev. B*, 47, 14932-14947 (1993). doi:10.1103/PhysRevB.47.14932.
25. G. Kresse, D. Joubert, From ultrasoft pseudopotentials to the projector augmented-wave method, *Phys. Rev. B*, 59, 1758-1775 (1999). doi:10.1103/PhysRevB.59.1758.
26. G. Kresse, J. Furthmuller, Efficient iterative schemes for ab initio total-energy calculations using a plane-wave basis set, *Phys. Rev. B*, 54, 11169-11186 (1996). doi:10.1103/PhysRevB.54.11169.
27. J.P. Perdew, K. Burke, M. Ernzerhof, Generalized gradient approximation made simple [phys. rev.lett. 77, 3865 (1996)], *Phys. Rev. Lett.*, 78, 1396-1396 (1997). doi:10.1103/PhysRevLett.78.1396.
28. K. Momma, F. Izumi, VESTA: a three-dimensional visualization system for electronic and structural analysis, *Journal of Applied Crystallography*, 41 (3), 653-658 (2008). doi:10.1107/S0021889808012016. URL <https://doi.org/10.1107/S0021889808012016>
29. V. Wang, N. Xu, J.C. Liu, G. Tang, W.-T. Geng, Vaspkit: A user-friendly interface facilitating highthroughput computing and analysis using vasp code, *Computer Physics Communications*, 267, 108033 (2021). doi:<https://doi.org/10.1016/j.cpc.2021.108033>.
30. Y.N. Lin, L.L. Li, X.-H. Yan, Y.P. Zhang, D.Y. Zhang, P. Zhang, Elastic and thermodynamic properties of Fe₃Ga from first-principles calculations, *Solid State Communications*, 230, 43-48 (2016). doi:10.1016/j.ssc.2015.12.008.
31. Y.N. Zhang, R.Q. Wu, H.M. Schurter, A.B. Flatau, Understanding of large auxetic properties of iron-gallium and iron-aluminum alloys, *Journal of Applied Physics*, 108 (2), 023513 (2010). arXiv:<https://doi.org/10.1063/1.3445269>,
32. X. Yan, Y. Lin, L. Li, F. Sun, Temperature-dependent elastic and thermodynamic properties of Fe₃Ga (DO₃, L1₂, and DO₁₉) alloys from first-principles calculations, *physica status solidi (b)*, 253 (11), 2236-2244 (2016). doi:10.1002/pssb.201600314.

33. T.M. Inerbaev, A. Abuova, Y. Kawazoe, R. Umetsu, Local ordering and interatomic bonding in magnetostrictive Fe_{0.85}Ga_{0.15}X (X=Ni,Cu,Co,La) alloy, Computational Materials Science, 202, 110934 (2022). doi:<https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2021.110934>.

Information about the authors:

Inerbaev T.M. - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, senior researcher, Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia.

Abuova A.U. – Ph.D., Associate Professor of the Department of Technical Physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Dauletbekova A.K. - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Technical Physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Abuova F.U. – Ph.D., Associate Professor of the International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Zhuman B. – the 2nd years master's student, Faculty of Physics and Technology L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Инербаев Т.М. - физика математика ғылымдарының кандидаты, аға ғылыми қызметкер, Новосибирск мемлекеттік университеті, Новосибирск, Ресей Федерациясы.

Абуова А.У. – Ph.D. докторы, Техникалық физика кафедрасының доценті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Даулетбекова А.К. - физика математика ғылымдарының кандидаты, Техникалық физика кафедрасының профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Абуова Ф.У. – Ph.D. докторы, Халықаралық ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар кафедрасының доценті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Жуман Б. – Наноматериалдар және нанотехнология мамандығы бойынша 2 жыл оқыған магистрант, Физика-техникалық факультеті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

A.A. Sagitov, K.T. Sherov, G.M. Tusupbekova

*S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, Kazakhstan
(E-mail: almat1990@mail.ru, shkt1965@mail.ru, gulim_tus@mail.ru)*

Wear resistance of metal-cutting tools and formation of secondary contact structures during cutting

Abstract. This article presents the results of research funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant № AP14972884 "Increasing wear resistance of metal-cutting tools by the method of lapping"). There was investigated the state of the metal-cutting tools' wear problem in the conditions of machine-building enterprises of the Republic of Kazakhstan (RK). It is revealed that metal-cutting tools do not always endure the durability period according to the standards and are exposed to premature wear of cutting edges, breakage, and chipping. The factors affecting the wear resistance of metal-cutting tools and the existing possibilities for their improvement are also studied. The article proposes the method of pretreating cutting tools in order to improve the wear resistance and durability of metal-cutting tools under the conditions of domestic machine-building industries. The formation of secondary structures on the working surfaces of the tools, which is one of the manifestations of the fundamental law - structural adaptability was studied on the basis of the results of the analysis of previously conducted works.

Keywords: endurance period, wear resistance of cutting tools, pretreating method, secondary contact structure, structural adaptability, dislocation density.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-87-97

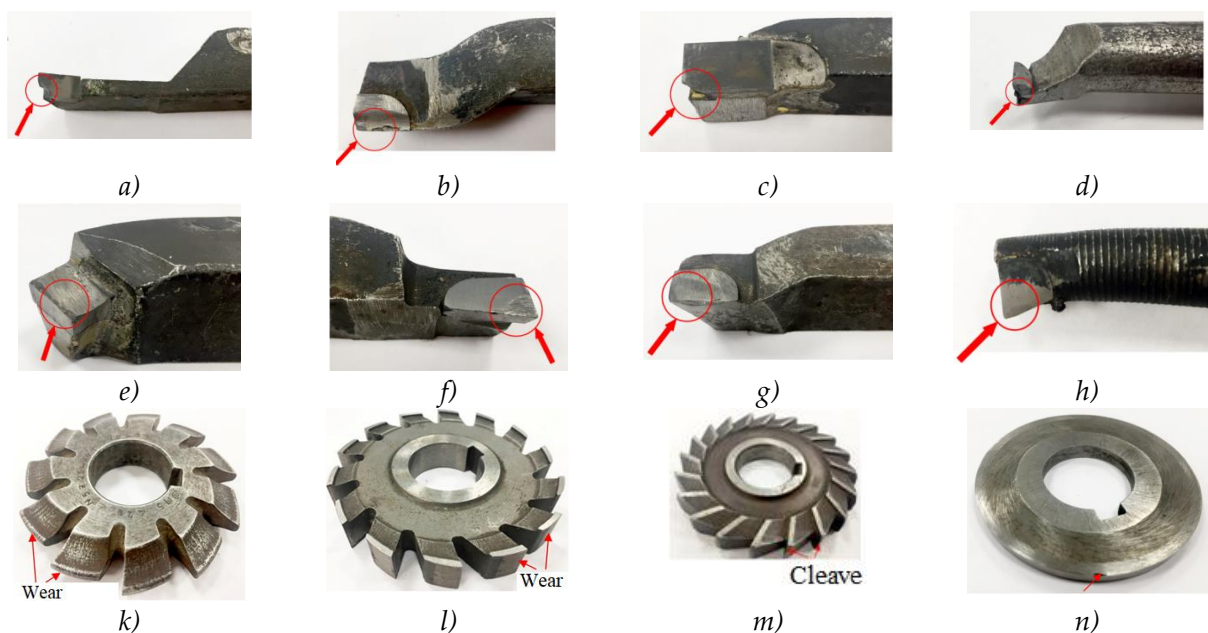
Introduction

Cutting machining is still the most preferred process for the final dimensioning of parts (despite significant progress in the development of such technological methods as precision casting, stamping, electro-physical processing, etc.) due to its flexibility and mobility, high accuracy and quality of the machined surface layer, and low cost [1].

In the system of measures to improve the machining process, the most effective link is the machining tool because it is the tool that largely determines the efficiency of using the technical possibilities of modern mechatronic systems equipped with high-speed devices with expensive microprocessor control (CNC and ADCS) and their payback period [1].

One of the acute problems in the machine-building enterprises of the Republic of Kazakhstan is the supply of high-quality and cheaper cutting tools for machining production. Currently, cutting tools are purchased from foreign manufacturers at significantly higher prices, which negatively affects the cost of machining.

The research conducted under the conditions of machine-building enterprises, in particular LLP "Astana electro-technical plant", LLP "Tselingidromash" (Astana), LLP "Mechanical plant RAPID" (Temirtau) and others, has shown that there is a problem with premature wear of cutting tools. (Temirtau) and others have shown that there is a problem with premature wear and failure of cutting tools. Photos of some cutting tools are shown in Figure 1.



a - cut-off cutter; b,c - undercutting cutters; d - boring cutter;
 e - straight turning cutter; f,g - undercutting cutters h - boring cutter;
 k - modular disc; l - circular disc; m - circular tripartite disc; n - special rotary high-speed steel discs
 Figure 1. Photos of some metal-cutting tools subjected to wear and chipping

The type of tool wear is determined by the physical and mechanical properties of the contact materials as well as the mechanical and thermal conditions at the contact surfaces.

Figure 2 shows the dependence of wear on machining time [2].

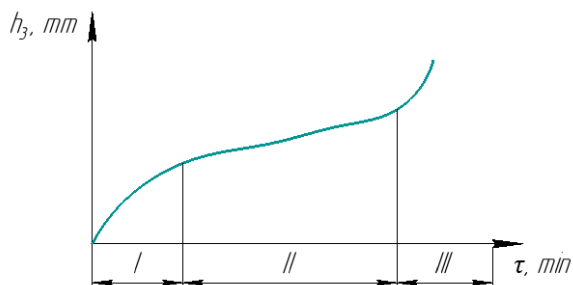
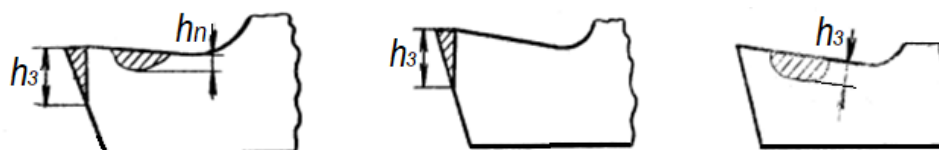


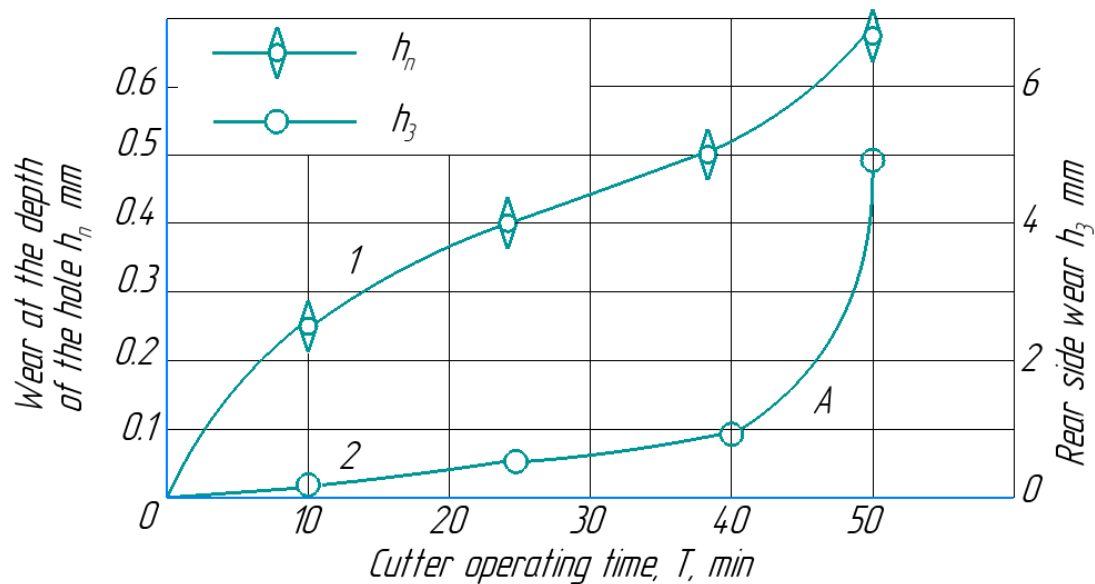
Figure 2. Dependence of wear on machining time

Three periods are characteristic for the given dependence: I - period of running-in, II - period of the normal wear, III - period of catastrophic wear. The intensity of the wear varies and is often accompanied by pitting on the cutting edge in hard alloys and plastic volumetric deformation in ductile tool steels. As a result, the tool wears more intensively. It is established by practice [3,4] that simultaneous wear on the back and front surfaces (fig.3, a) occurs when working with a thickness of the cut layer of more than 0.1 mm with low or average speeds for the given tool material. At work with a small thickness of the cut layer $a \leq 0,1$ mm, the wear of cutters proceeds only on the back surface (fig. 3, b). At a thickness of the cut layer of more than 0,5 mm and cooling is applied, only the front side is worn (fig. 3, c).



a) b) c)
Figure 3. Simultaneous wear on the back and front surfaces of the tool

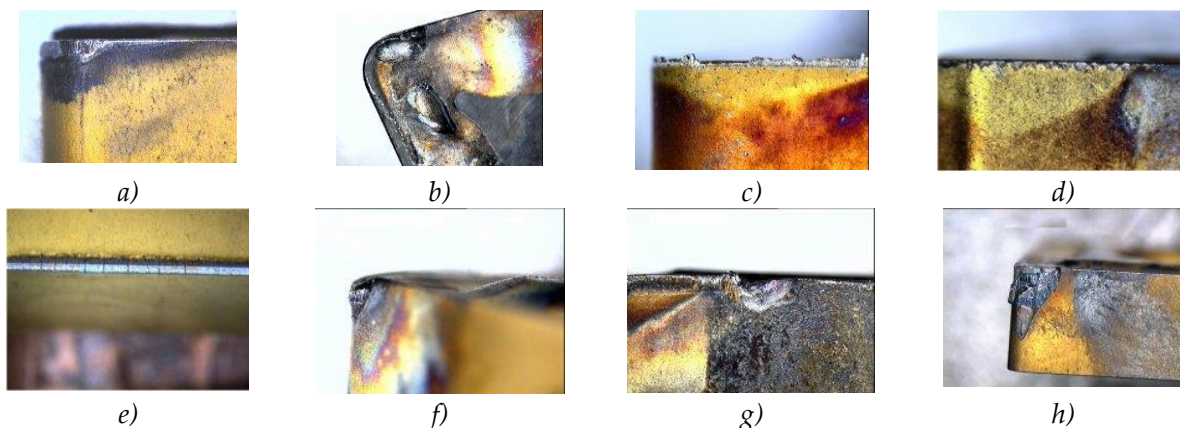
Figure 4 shows the graph of the pick wear on the front and rear surfaces [2,5]. On the diagram, you can see that line 1, showing the amount of wear on the front side, grows quite intensively during the whole operation of the pick, and line 2, showing wear on the rear surface, grows slowly until the point of inflection A, after which the wear occurs catastrophically fast and ends with the destruction of the pick. The wear corresponding to point A is called optimum wear, and it is not advisable to go beyond this point. This wear is the result of a combination of factors, such as damage to the cutting edge by mechanical and thermal stresses, wear by pressure welding (adhesion), mechanical wear, which is the removal of cutting edge particles by external forces, and at high temperatures the burning of cutting edge material (thermal wear).



Steel 45; $\delta B=65 \text{ kg/mm}^2$; $t = 4 \text{ mm}$; $S = 0.5 \text{ mm/rev}$; $V = 44 \text{ m/min}$

Figure 4. Cutter wear graph for front and rear surfaces

The durability is usually evaluated by the wear of the cutting-edge tool. Figure 5 shows the types of tool edge wear [6].



a - natural wear of the cutting edge on the rear surface; b - hole formation on the cutting edge; c - growth on the cutting edge; d - pitting of the cutting edge; e - thermal and mechanical damage to the cutting edge; f - deformation of the cutting edge; g - formation of a groove on the cutting edge; h - mechanical destruction of the cutting edge

Figure 5. Types of tool cutting-edge wear

There is a relevant task of increasing the wear resistance and durability of metal-cutting tools and thereby reducing the consumption of expensive tools and increasing labor productivity.

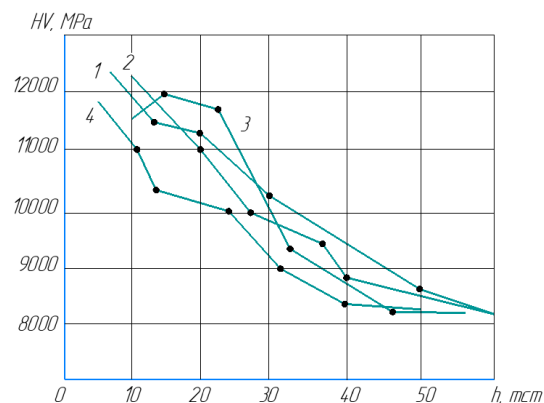
Main part

The wear resistance of metal-cutting tools depends on a large number of factors. The most important factors are the tool material, the shape of the cutting edges, the cutting mode, the state of the crystal structure of material, and the presence of residual stresses caused by heat treatment [7]. There are many ways to increase the wear resistance of cutting tools by changing the internal structure of material, the state of magnetization and the chemical composition and condition of the surface layer. These methods include hardening, mechanical hardening, chemical heat treatment, application of wear-resistant coatings, magnetic-abrasive treatment, and magnetic-pulse treatment. Most tool steels and high speed steels, in particular, are well hardenable. The hardening process increases tool hardness from 40-45 HRC to 63-69 HRC, which increases tool wear resistance. For cutting tools, an increase in the hardness of a few HRC units leads to an increase in wear resistance by several tens of percent. The cutting tool is made of high-speed steel of tungsten and tungsten-molybdenum groups (P9, P12, P18; P6M3, P6M5) after hardening and following low-temperature tempering (aging) it gets hardness of 63...67 HRC. The negative side of the hardening process is the appearance of internal stresses in the tool structure, which cannot be removed even by low-temperature tempering. The internal stress points contain excess internal energy that causes tool warping and micro-cracking. These factors sometimes play a significant role in tool wear and fracture and make additional machining (straightening, straightening) necessary before tool use. Thermal chemically machining refers to methods based on changing the chemical composition of the tool's surface layer at elevated temperatures. The main methods of chemical heat treatment are cyanidation, nitriding and nitrocementation. The main influence on the increase in wear resistance is a layer representing at cyanidation a thin mixture of martensite, carbides, and carbidonitride phases, which hardness is 69-70 HRC, at nitriding complex tungsten nitrides and carbonitride phases which have a hardness of 1300-1400 HV, at nitrocementation also a carbide layer is formed, which has high hardness and wear resistance. With all the advantages of chemical heat treatment, it also has disadvantages. The main disadvantages include embrittlement of the treated layer and preservation of the layer until the first resharping of the tool. These disadvantages limit the use of this method. Mechanical hardening of cutting tools consists in rounding their cutting edges to the required size and training the surface layer through vibration treatment. Change of geometrical parameters is expressed in rounding of cutting edges and in the improvement on their surface quality, changing physical and mechanical parameters is reduced to the surface layer formation of compressive residual stresses. Because of its high productivity, efficiency and low cost, this machining method is widely used in tool production. At the same time, it has its disadvantages. These include the facts that the tool is hardened only on the surface, while the core structure does not change, with the effect on the cutting edges lasting only until resharping.

The authors carry out grant theme AP14972884 "Increase of wear resistance of metal-cutting tools by the method of lapping" which is directed to the decision of a question of an increase of wear resistance and the period of firmness of the tool. The research and analysis of the previously performed works in this area showed that the formation of the secondary structures on the working surfaces of the cutting tool is one of the manifestations of the fundamental law - of self-organization [8,9,10,11]. The optimal option of self-organization or structural adaptability is the formation process of secondary contact structures possessing strength properties tangibly superior to the initial one. This phenomenon is the result of complex physicochemical and mechanochemical processes accompanying friction during cutting and manifests themselves within a relatively narrow framework of frictional contact functioning [12,13,14,15]. The properties of secondary structures are determined by two simultaneously acting

competing factors: hardening and softening or, the same thing, strain hardening and thermal rest. Structural adaptability in the applied variant is successfully used in the practice of operation of friction pairs and is realized by their running-in or running-in [16,17]. Principle laws of running-in of friction pairs are also applicable to the cutting tools, which pre-treatment at cutting modes optimal from the point of view of hardening of their working surfaces can be considered as an effective and one of the cheapest ways to improve durability.

Figure 6 shows the dependences obtained in the study of hardening of worm cutter teeth on P6M5 at milling of gears $m=10\text{mm}$ [18]. The nature of the curves at different modes can be explained by the presence of shock processes, accompanying milling, and periodic thermal cycling on the contact areas of the cutting teeth. The hardening value depends on the cutting modes and takes on a greater value in the presence of impact processes. However, a large value of scatter and insignificant numerical difference of their average values make it difficult to carry out a serious quantitative analysis to determine the connection between the cutting parameters and contact interaction with the degree of hardening of secondary structures. In view of this, one of the objective and quite informative methods of analysis of the properties of secondary tool structures is to determine its wear resistance on cutting modes exceeding those in which its formation occurred.

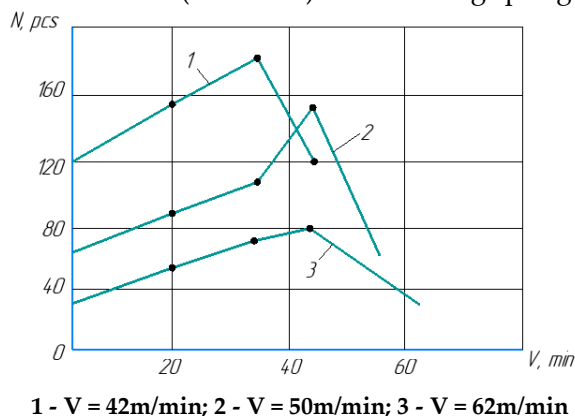


1 - in the initial position (after hardening); 2 - after 15 minutes of work at $V=0.541\text{ m/s}$; 3 - after 15 minutes of work at $V=0.7\text{ m/s}$; 4 - after 15 minutes of work at $V=0.833\text{ m/s}$

Figure 6. Distribution of microhardness in the contact layer of a worm cutter $m = 10\text{ mm}$ of R6M5F with cylindrical gears of steel 40Ch

The extreme character of the dependence of the pretreatment rate effect on the wear resistance of the contact surfaces of the tool, as well as the presence of the cutting speed limit above which there is no effect of the pre-treatment confirms the dominant role of the deformation hardening in the secondary structure adaptation process. The extreme nature of the dependence of the wear resistance of the secondary structure on the cutting speed can be explained as follows. With the increase in cutting speed, the sliding speed in the frictional contact zone increases, leading to an increase in the speed and degree of plastic deformation of the contact layers of the tool. It leads to an increase in the density of crystalline structure defects, which determine the hardening value. As the cutting speed increases, the process temperature increases, which facilitates deformation up to a certain level, stimulates more hardening. However, when the temperature reaches a certain value equal to the recrystallization temperature, the crystalline structural defects become active. As they move to the surface or annihilate with each other, they reduce the overall defect density, reducing the amount of hardening. In addition, as the temperature increases, the stability of the defect decreases, and its "dissolution" in the main crystal increases [19]. Thus, the presence of the wear resistance extremum on the cutting speed is the result of two competing processes of deformation hardening and thermal rest. Consequently, the optimal regimes of pretreatment should correspond to the condition of the formation of secondary contact structures with an increased

density of crystalline structure defects. However, high dislocation density is not sufficient to increase the wear resistance of the material. Another condition is the formation of thermally stable dislocations capable of maintaining their structure at high process temperatures. Consequently, the same structure can manifest itself differently at different temperature regimes, which in turn means that in practice there is no optimal regimes uniform for all operating conditions. Figure 7 shows a graph showing the effect of the running-in speed of a P6M5F worm cutter ($m=10\text{mm}$) when cutting spur gears from steel 40Ch.



1 - $V = 42\text{m/min}$; 2 - $V = 50\text{m/min}$; 3 - $V = 62\text{m/min}$
Figure 7. Diagram of the effect of the running-in speed of the hobbing cutter from P6M5Φ ($m=10\text{mm}$) when cutting spur gears from steel 40Ch

This is confirmed by the results shown in Fig. 7, reflecting the effect of the pre-processing speed of the worm cutter for different operating modes. The optimum running-in speed corresponds to the dependence extremum. However, the location of the maximum is different at various cutting speeds; in this case, an even tendency is observed that with the increase of the cutting speed, the optimal pre-treatment speed also increases. So, for gear hobbing of cylindrical gears at $V=62\text{ m/min}$, the optimum running-in speed is 42.0 m/min , and for cutting speed of 42 m/min it drops to $V=32.5\text{ m/min}$.

Discussion

This allows us to liken the formation of hardened secondary structures on the working surfaces of the tool to the process (HTMTT) of high-temperature mechanical-thermal treatment. In this case, in the traditional HTMTT method, the plastic deformation and thermal influence in the process of running-in are combined in time and implemented at the expense of the energy of the cutting process itself. Considering that the thermal influence during HTMTT stimulates the disappearance of thermally unstable dislocations, it follows that the heat resistance of the hardened structures increases with the process temperature [18,19]. On this basis, the results presented in Fig. 7 can be interpreted as follows. At low cutting speeds, when the process temperature is low, hardening is realized by forming a high dislocation density, thermally unstable. Such a structure will naturally work well only at thermally low cutting speeds. At high cutting speeds due to the high temperature of the process, the growth of dislocation density will be accompanied by intensive loss of thermally unstable crystalline structure defects. As a result, the secondary structure will have less high dislocation density but be thermally stable. Such a structure will perform well at high cutting speeds and not effectively at low speeds. It is known that the wear of cutting tools can vary within a wide range, proceed by various mechanisms, but in all cases, it is a consequence of friction. For each tribosystem formation of secondary structures on surfaces of friction which represent some "third" body carrying out protective functions, limiting distribution of interaction inside rubbing bodies are characteristic [1]. Formation of secondary structures and wear are connected with transformations of energy at friction which can be considered from positions of nonequilibrium thermodynamics and self-organization. At the same time, the problem of selecting contacting materials that are capable of adapting (adapting) to each other in the process of mutual movement, providing entropy reduction on friction surfaces, and increasing their wear resistance under

the adopted lubricating medium (or absence of lubrication) and a given friction mode comes to the fore. At present in mechanical engineering cutting tool materials and coatings with the predictable adaptation of friction surfaces have not yet found noticeable application, meaning the ability of friction pair "tool - workpiece" in given conditions of cutting to adapt to external influences with reduction of wear intensity due to formation of secondary structures on contact surfaces with minimum entropy production [1]. The reason for this is the insufficient study of the structural-phase adaptation of the near-surface layers of contacting tools and machining materials, considering the passage of nonequilibrium processes and the interaction of irreversible processes during metal cutting friction, which complicates the practical use of this phenomenon to improve the wear resistance of cutting tools.

Conclusion

1. The results of the research on the state of the problem of metal-cutting tools wear in the conditions of machine-building enterprises of the Republic of Kazakhstan showed that metal-cutting tools do not always endure the durability period according to the standards and are exposed to premature wear of cutting edges, breakage and chipping. The solution to this problem is the use of a resource-saving, affordable method of increasing the wear resistance of the working surfaces of metal-cutting tools by pre-treatment.

2. Based on the analysis of the results of earlier work, it was found that the optimal pre-treatment modes should correspond to the condition of forming secondary contact structures with an increased density of crystalline structure defects capable of preserving their structure at high process temperatures.

3. The optimal variant of self-organization or structural adaptability is the process of formation of secondary contact structures with strength properties tangibly exceeding the initial one. This phenomenon is the result of complex physical-chemical and mechano-emissive processes accompanying friction during cutting and is manifested within a relatively narrow framework of frictional contact functioning.

References

1. Mihranov M.Sh. Increasing tool wear resistance based on the prediction of friction surface adaptation processes during metal cutting: doctor of technical sciences dissertation: 05.03.01 Ufa, 2007.- 433 p.
2. Zaloga V.A., Nagorny V.V. Determination of tool durability and degree of its wear by the sound level accompanying the cutting process / Metalworking.-S.Peterburg: Publishing house "Polytechnika", № 2 (74)/2013 - p.14-22.
3. Industrial portal. Cutting tool wear. <https://xn--80awbhbdcfu.su/iznos/>
4. Mashkov Y.K., Maliy O.V. Tribophysics of structural materials: textbook / Minobrnauka RF, OmSTU. - Omsk: OmSTU Publishing House, 2017. - 176p.
5. Filippov M.A., Makarov A.V., Sheshukov O.Yu., Shevchenko O.I., Metelkin A.A. Wear and wear-resistant materials: a tutorial. Ural Federal State Educational Institution of Higher Professional Education is named after the first President of Russia B. N. Yeltsin. Yeltsin, Nizhniy Tagil. inst. of Technological Institute (branch). - Nizhny Tagil: NTI (branch) UrFU, 2019. - 372 p
6. The main types of plate wear. <https://cncmagazine.ru/polezno-znat/8-tipov-iznosa-tokarnyh-plastin-prichiny-kak-prodlit-srok-sluzhby-instrumenta/>
7. Olkhovoy S.A., Ovcharenko A.G., Romashev A.N. Method for increasing the wear resistance of metal-cutting tools made of tool steels through magnetic-pulse treatment with preheating and installation for its implementation. Patent RU 2244023 C2. Published on January 10, 2005. Bulletin. №1.
8. Kim V.A., Yakubov F.Ya. The hypothesis of thermodynamic wear mechanism. Proc. "Technology of progressive machining and assembly". Issue #323. Tashkent, 1981. p. 25-34.

9. Mardonov B.T., Sherov K.T., Ravshanov Zh. / Journal of Advances in Engineering Technology. Navoi: Publishing house LLC "Science Algorithm", 2021. - №2(4) - С.33-39.
10. Mardonov B.T., Sherov K.T., Ravshanov J.R., Smailova B.K. Study of the effect of hardness of the machined material on the optimal rate of pre-treatment. / Scientific journal "Science and technology of Kazakhstan". Pavlodar: Publishing house of PSU, 2021.- №4. - p. 22-29.
11. Sherov K.T. Technology of hardening the contact surfaces of the gear-cutting tool // Interuniversity collection of scientific papers. "Actual issues in the field of technical and socio-economic sciences. Issue 1.-Tashkent: Tashkent State Technical University Press, 2006.
12. Kostetsnyi B.I. Friction, Lubrication and Wear in Machines. Kyiv. Technika, 2014. 395 p.
13. Kim, V.A., Mokritsky, B.Y., Morozova, A.V. (2020). Dissipative Structure of Contact Interaction When Cutting Metals. In: Radionov, A., Kravchenko, O., Guzeev, V., Rozhdestvensky, Y. (eds) Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1_111
14. Kim V.A., Yakubov F.Ya. Influence of structural adaptability of a tool on its durability. Sb. "Optimization of cutting processes of hot and high-strength materials". Ufa. 1983. с. 92-96.
15. Kim, V.A., Aung, N.T., Belova, I.V., Turkmenov, H.I. (2021). Dissipative Structures of Laser-Hardened Structural Steels. In: Shakirova, O.G., Bashkov, O.V., Khusainov, A.A. (eds) Current Problems and Ways of Industry Development: Equipment and Technologies. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 200. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69421-0_49
16. Marukovich, E. I. Wear-resistant alloys / E. I. Marukovich, M. I. Karpenko. - Moscow: Mashinostroenie, 2005. - 428 p.
17. Bogdanovich P.N., Prushak V.Y., Bogdanovich S.P. Friction, Lubrication and Wear in Machines. Textbook. - Minsk: Technology Publishing House, 2011 - 527 p.
18. Kim V.A., Thein A.N. Quantitative assessment of dissipative properties of the superficial structure of the steel 25XM strengthened by pulse laser influence (2019) 5th International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2019. Sochi. Код 237109. Solid State Phenomena.Vol. 299, PP.933 – 937. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.299.933>
19. Sherov K.T., Mardonov B.T., Irzaev A., Karimov Sh.A. Method of increasing wear resistance and reliability of worm mills / "Problems of Mechanics" - Tashkent: Publishing house "Fan" Academy of Sciences, 2005.-№3.-p.100-103.

А.А. Сагитов, К.Т. Шеров, Г.М. Тусупбекова

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана, Қазақстан

Металл кесуші құралдың тозуға төзімділігі және кесу кезінде қайталама жанасушы құрылымдардың түзілуі

Аңдатпа. Бұл мақалада Қазақстан Республикасы Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландыратын зерттеу нәтижелері келтірілген (№AP14972884 «Ысқылап қалыптастыру әдісімен металл кескіш құралдардың тозуға төзімділігін арттыру» гранты). Қазақстан Республикасының (ҚР) машина жасау кәсіпорындары жағдайында металл кесуші құралдардың тозу мәселесінің жай-күйі зерттелді. Металл кесетін құралдар әрдайым нормативтерге сәйкес төзімділік кезеңін сақтай бермейтіні және кесу жиектерінің мерзімінен бұрын тозуына, сынуына және жырашық пайда болуына ұшырайтыны анықталды. Сондай-ақ, металл кесуші құралдардың тозуға төзімділігіне әсер ететін факторлар және оларды арттырудың бар тәсілдері зерттелді. Отандық машина жасау кәсіпорындары жағдайында металл кесуші құралдардың тозуға төзімділігі мен төзімділігін арттыру үшін металл кесуші құралдарды алдын ала ысқылап қалыптастыру әдісі ұсынылады. Бұрын орындалған жұмыстарды талдау нәтижелері бойынша құралдың жұмыс беттерінде қайталама құрылымдардың қалыптасуы

зерттелді, бұл іргелі заңдылық көріністерінің бірі – құрылымдық бейімделу.

Кілтті сөздер: төзімділік кезеңі, кескіш құралдың тозуға төзімділігі, алдын-ала ысқылап қалыптастыру әдісі, қайталама байланыс құрылымы, құрылымдық бейімделу, орналасу тығыздығы.

А.А. Сагитов, К.Т. Шеров, Г.М. Тусупбекова

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

Износостойкость металлорежущего инструмента и образование вторичных контактных структур при резании

Аннотация. В данной статье приводятся результаты исследования, финансируемого Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №АР14972884 «Повышение износостойкости металлорежущих инструментов методом приработки»).

Исследовано состояние проблемы износа металлорежущих инструментов в условиях машиностроительных предприятий Республики Казахстан (РК). Выявлено, что металлорежущие инструменты не всегда выдерживают период стойкости согласно нормативам и подвергаются преждевременному изнашиванию режущих кромок, поломке и сколам. Также исследованы факторы, влияющие на износостойкость металлорежущих инструментов, и существующие способы их повышения. Для повышения износостойкости и стойкости металлорежущих инструментов в условиях отечественных машиностроительных предприятий машиностроительных производств предлагается метод предварительной приработки металлорежущих инструментов. По результатам анализа ранее выполненных работ исследовано формирование вторичных структур на рабочих поверхностях инструмента, которое является одним из проявлений фундаментальной закономерности – структурной приспособляемости.

Ключевые слова: период стойкости, износостойкость режущего инструмента, метод предварительной приработки, вторичная контактная структура, структурная приспособляемость, плотность дислокаций.

Список литературы

1. Мигранов М.Ш. Повышение износостойкости инструментов на основе прогнозирования процессов адаптации поверхностей трения при резании металлов: диссертация... д-ра техн. наук : 05.03.01 Уфа, 2007.- 433 с.
2. Залогов В.А., Нагорный В.В. Определение стойкости инструмента и степени его износа по уровню звука, сопровождающего процесс резания / Металлообработка.–С.-Петербург: Изд. «Политехника», № 2 (74)/2013 – С.14-22.
3. Промышленный портал. Износ режущего инструмента. <https://xn--80awbhbdcfes.su/iznos/>
4. Машков, Ю.К., Малий О.В. Трибофизика конструкционных материалов: учеб. пособие / Минобрнауки РФ, ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2017. – 176с.
5. Филиппов, М.А., Макаров А.В., Шешуков О.Ю., Шевченко О.И., Метелкин А.А. Износ и износостойкие материалы: учеб. Пособие. ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2019. – 372 с
6. Основные типы износа пластин. <https://cnsmagazine.ru/polezno-znat/8-tipov-iznosa-tokarnyh-plastin-prichiny-kak-prodlit-srok-sluzhby-instrumenta/>
7. Ольховой С.А., Овчаренко А.Г., Ромашев А.Н. Способ повышения износостойкости металлорежущего инструмента из инструментальных сталей путем магнитно-импульсной

обработки с предварительным нагревом и установка для его осуществления. Патент RU 2244023 С2. Опубликовано 10.01.2005. Бюль. №1.

8. Ким В.А., Якубов Ф.Я. Гипотеза термодинамического механизма износа. Сб. «Технология прогрессивной механической обработки и сборки». Выпуск №323. Ташкент, 1981. с 25-34.

9. Мардонов Б.Т., Шеров К.Т., Равшанов Ж.Р. Анализ интенсивности предварительно приработанного инструмента, а также его надёжности, стойкости и стабильности. / Journal of Advances in Engineering Technology. Навои: Изд-во ООО «ScienceAlgorithm», 2021. - №2(4) - С.33-39.

10. Мардонов Б.Т., Шеров К.Т., Равшанов Ж.Р., Смайлова Б.К. Исследование влияние твердости обрабатываемого материала на оптимальную скорость предварительной приработки. / Научный журнал «Наука и техника Казахстана». Павлодар: Изд-во ПГУ, 2021.- №4. - С. 22-29.

11. Шеров К.Т. Технология упрочнения контактных поверхностей зуборежущего инструмента // Межвузовский сборник научных трудов. «Актуальные вопросы в области технических и социально-экономических наук». Выпуск 1.-Ташкент: Изд-во ТашГТУ, 2006.-С. 24-25.

12. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. Киев. Техника, 2014. 395 с.

13. Kim, V.A., Mokritsky, V.Y., Morozova, A.V. (2020). Dissipative Structure of Contact Interaction When Cutting Metals. In: Radionov, A., Kravchenko, O., Guzeev, V., Rozhdestvenskiy, Y. (eds) Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1_111

14. Ким В.А., Якубов Ф.Я. Влияние структурной приспособляемости инструмента на его стойкость. Сб. «Оптимизация процессов резания жарко и особопрочных материалов». Уфа. 1983. с. 92...96.

15. Kim, V.A., Aung, N.T., Belova, I.V., Turkmenov, H.I. (2021). Dissipative Structures of Laser-Hardened Structural Steels. In: Shakirova, O.G., Bashkov, O.V., Khusainov, A.A. (eds) Current Problems and Ways of Industry Development: Equipment and Technologies. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 200. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69421-0_49

16. Марукович, Е. И. Износостойкие сплавы / Е. И. Марукович, М. И. Карпенко. – Москва: Машиностроение, 2005. – 428 с.

17. Богданович П.Н., Прушак В.Я., Богданович С.П. Трение, смазка и износ в машинах. Учебник. – Минск: Изд-во «Тэхналогія», 2011 – 527 с.

18. Kim V.A., Thein A.N. Quantitative assessment of dissipative properties of superficial structure of the steel 25XM strengthened by pulse laser influence (2019) 5th International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2019. Sochi. Код 237109. Solid State Phenomena. Vol. 299, PP.933 – 937.

DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.299.933>

19. Шеров К.Т., Мардонов Б.Т., Ирзаев А., Каримов Ш.А. Способ повышения износостойкости и надёжности червячных фрез / «Проблемы механики» - Ташкент: Изд-во «Фан» АН РУз, 2005.-№3.-С.100-103.

Information about the authors:

Sagitov A.A. - Postdoctoral student of the department of «Technological machines and equipment», S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, 62 Zhenis ave., Astana, Kazakhstan.

Sherov K.T. - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Technological Machines and Equipment», S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, 62 Zhenis ave., Astana, Kazakhstan.

Tusupbekova G.M. - Doctoral student of the department of «Technological machines and equipment», S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, 62 Zhenis ave., Astana, Kazakhstan.

Сагітов А.А. – «Технологиялық машиналар мен жабдықтар» кафедрасының постдокторанты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Жәніс д., 62, Астана,

Қазақстан.

Шеров К.Т. – техника ғылымдарының докторы, «Технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасының профессоры, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Женіс д., 62, Астана, Қазақстан.

Тусупбекова Г.М. – «Технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасының докторанты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Женіс д., 62, Астана, Қазақстан.

Б.Б.Тогизбаева, А.Б. Забиева, А.А. Каражанов, Ж.Р. Алипбаев

*Л.Н. Гумилев атындағы Евразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
(E-mail: akarazhanov@mail.ru, alipbaev.1977@mail.ru, aliya.zhakupovazabieva@mail.ru)*

Суық жағдайда жанасу-шаршау ақаулары пайда болған кезде рельсті бұзу механикасын зерттеу

Аңдатпа. Жолда жұмыс істеген кезде рельстер әртүрлі жүктемелердің (күш, температура, атмосфералық) бірлескен әсеріне ұшырайды, олардың әсерінен рельсті металда күрделі және әдетте өзара байланысты процестер жүреді: металдың пластикалық деформациясы, бастың сырғанау бетіндегі әртүрлі бұзушылықтардың дамуы. Суық жағдайда беткі зақымданулардың пайда болуы және олардың дамуы, контактілі шаршаудың ішкі ақауларының дамуы. Мұның бәрі рельстердің қызметтік қасиеттерінде айтарлықтай өзгерістерге әкеледі. Мақалада әртүрлі теріс температурада (-20°-дан -60°-қа дейін) жылжымалы құрамның қозғалысы кезінде шексіз пластинадағы жарықшақтың жоғарғы бөлігінде серпінді кернеулердің пайда болу себептері қарастырылады. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде рельстердің басындағы ақауларды қалпына келтіру тәсілдері анықталды, бұл ақаулары бар рельстерді пайдалануды жалғастыру туралы мәселені көтеруге мүмкіндік берді.

Түйін сөздер: төмен температура, рельстер, ақау, бойлық жарықшақ, ойық, шаршау байланыс ақауы.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-98-104

Кіріспе

Рельстер жолдың жоғарғы құрылымының ең жауапты және қымбат элементі болып табылады. Бірінші класты желілердің ағынсыз және буындық жолдарындағы Р65 типті рельстердің нормативтік қызмет мерзімі тиісінше 700-600 млн. т брутто құрайды [5]. Рельстердің жанасу-шаршау беріктігі рельстердің сырғанау бетінде жанасу-шаршау зақымданулардың пайда болуымен және дамуымен байланысты [6].

Суық жағдайда жолда пайдалану кезінде рельстер әртүрлі жүктемелердің (күштік, температуралық, атмосфералық) бірлескен әсеріне ұшырайтыны белгілі, олардың әсерінен рельстік металда күрделі және, әдетте, өзара байланысты процестер жүреді: металдың пластикалық деформациясы, бастың сырғанау бетінде әр түрлі тегіс еместіктің дамуы, беттік зақымданудың пайда болуы және олардың дамуы, түйіспелі-шаршау тектес ішкі ақаулардың дамуы [1]. Осының барлығы рельстердің қызметтік қасиеттерінің айтарлықтай өзгеруіне әкеледі. Мысалы, рельстермен 100 млн. тоннаға жуық брутто өткеннен кейін бастың жылжымалы құрамның доңғалақтарымен түйісу аймағында бастың жұмыс істейтін жекелеген жерлерінде «қара дақтар» пайда бола бастайды, ойықтар пайда болады, рельстердің ұшында металл шайылып, боялады, жеке толқынды тегіс емес пайда болады. Бас металдың беткі қабатындағы жапсырма тоннаждың жұмыс істеуіне қарай өседі. Жолда болып жатқан процестердің нәтижесінде одан әрі пайдалану кезінде ақаулар бойынша рельстердің жеке шығуы ұлғаяды, ол нормативтік тоннажды өткізу уақытына қарай 6 шт./км жолға жетуі мүмкін [1].

Көптеген эксперименттік жұмыстар және сыртқы үйкеліс туралы теориялық түсініктер үйкеліс денелердің үстіңгі көлемінде болатын серпінді-пластикалық деформацияны қарастырумен байланысты [2]. Деформация сыртқы үйкелістің өтуіне себепші болатын негізгі

процесс болып табылады. Деформация нақты байланыс алаңының өзгеруіне, физикалық бедердің дамуына әкеледі, үйкеліс күштерінің қалыптасуына шешуші әсер ететін бірқатар туынды құбылыстарды - тозу мен зақымдануды туғызады.

Зерттеу әдістемесі

Жүктеу кезінде үлгінің орташаланған қасиеттерін ескеретін беріктік пен пластикалықтың жалпы қабылданған сипаттамаларынан айырмашылығы, бұзылу механикасының критерийлері материалдың жергілікті қасиеттерін (жарықтар фронты бойынша орташаланған) ескереді және жарықтың шыңындағы кернеу өрісін талдау негізінде сыңар қирауға көшу шарттарын белгілейді. Жалпы жағдайда шексіз пластинадағы жарықтың шыңы кезіндегі серпімді кернеу өрістерін келесі формула арқылы табуға болады

$$\sigma_{ij} = K_i(2\pi r)^{-0.5} f_{ij}(\vartheta) \quad (1)$$

қайда K_i - кернеу қарқындылығының коэффициенті және оның шамасы жарықтың шыңы кезіндегі кернеу өрісін толық мөлшерде анықтайды, $K_i = \sigma(\pi b)^{0.5}$. Қисық-тік өлшемнің жарығына жеткен сәтте ұзу жолымен бөлшектерге қирау кезінде K_i мәні (K) немесе тұтқыр қирау кезінде жазық деформация жағдайындағы кернеу қарқындылығының сындарлы коэффициенті болып табылады.

Бұл ретте жарықтың шыңынан r қашықтықта орналасқан және оның жазықтығы 0 бұрыш құрайтын $dx dy$ пластинасының элементі қолданыста болады. Бағытында әрекет ететін және тиісті кернеу t х. пластинаның (бөлшектердің немесе үлгілердің, мысалы, рельс сияқты) жеткілікті үлкен қалыңдығы кезінде бұзылу жазық деформация жағдайында болады, пластикалық деформацияның ағу процесі барынша басылады және созылатын кернеулердің әсерінен (үзілу) болатын сыңар бұзылу нәтижесінде пластинаның ұзындығына перпендикуляр жалпақ сынық пайда болады.

Кернеу қарқындылығы коэффициенті үшін (1) өрнегі шексіз пластина үшін әділ. Нақты жағдайлар мен бөлшектер үшін f түзету параметрі енгізіледі. параметрлер қатарын (ұзындығы, ені және т.б.) ескеретін.

Кернеу қарқындылығының коэффициенті K_i , егер пластикалық аймақ жарықтың шыңының маңында аз болса, өзінің мәнін сақтайды.

Циклдік жүктеме нөлден кейбір шамаға дейін өзгерген кезде кернеу қарқындылығының коэффициенті мынадай аралықта өзгереді:

$$\Delta K = K_{max} - K_{min} \quad (2)$$

Циклдік жүктеу кезінде бір циклде жарықтың таралуы (жарықтың жылжуының сок-ростығы) кернеу қарқындылығының өзгеру амплитудасына байланысты шамасы бар, салыстырмалы түрде дәл Парис теңдеуімен анықталады [1]:

$$\frac{db}{dN} = C(\Delta K)^u \quad (3)$$

$$\frac{db}{dN} = v \quad (4)$$

мұндағы v - шаршаған жарықтың өсу жылдамдығы;

db - жарықтың ұзындығының өсуі;

dN - жүктеме циклдерінің бір немесе біршама белгілі саны;
 C, n - материал мен жүйенің тұрақты болып есептелетін параметрлер жүктеме.

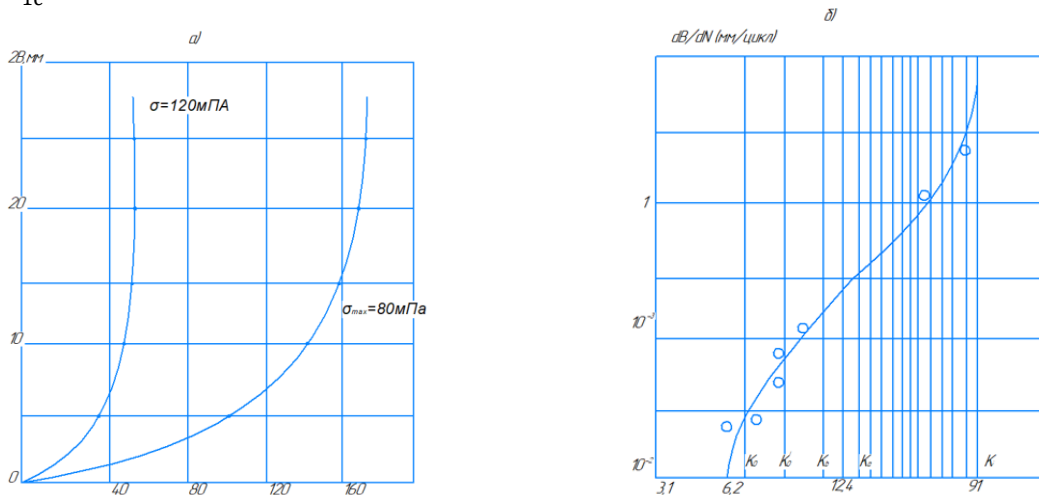
$$\Delta K = (\Delta\sigma)\sqrt{bf} \tag{5}$$

мұнда $\Delta\sigma$ - кернеулердің өзгеру амплитудасы.

Жарықтың таралу жылдамдығы оның өсуіне қарай қисықтардың көлбеуінен анықталады. ΔK шамасын арақатынастан тиісті b мәнді қою кезінде анықтауға болады. 1б-суретте, ΔK нің db/dN тәуелділігі логарифмдік координаталарда бейнеленген, үлкен амплитудалар кезінде пайда болған кернеу өзгерістері бірінші эксперименттің басында ΔK және үлкен мәндеріне сәйкес келетіні көрінеді; екінші эксперименттің нәтижелері (ΔK және db/dN кіші шамалары) бірінші жағдайдағыдай үлкен мәндерге (1а және 1б сурет қисығындағы нүктелер) жету арқылы да осы қисыққа түседі. ΔK -ның бірдей білуі кезінде бірінші сынақта да (кіші жарықшақ және үлкен кернеу), екінші сынақта да (ұзын жарықшақ және шағын кернеу) жарықтың таралу жылдамдығында ешқандай айырмашылық жоқ екені анық.

Осылайша, Париж (3) теңдеуі жарықтың өсу қарқынының көптеген сынақтарының нәтижелерін жалпылауға және оларды әртүрлі төмен температураларда логарифмдік координаттарда бір қисық түрінде көрсетуге мүмкіндік береді: ΔK кернеудің қарқындылық коэффициенті, және жарықтың таралу жылдамдығы. Әртүрлі материалдар үшін C және n коэффициенттерінің мәндері кең шектерде ауытқиды.

Парис теңдеуінің графигі [5] $db/dN = fF S$ формалы қисық сызық н ысанында болады және әр түрлі көлбеу учаскелерден тұрады (1б сурет): шаршаған жарықтың таралуының басталуы (K_0), оның өсу жылдамдығының біршама баяулауы (K_a), $K_a - K_b$ учаскесінде жарықтың таралуының жылдамдығы, түзу-түзу тәуелдігіне жақын K_b -ден кейін; - шаршаған жарықтың өсу жылдамдығының одан әрі жылдамдығы, ал ол сыни өлшемге жеткен кезде (db/dN қатынасы шексіздікке айналады) бөлшектің бұзылуы орын алады, осы сәтте кернеудің интенсивтілігі мәніне жетеді K_{1c}

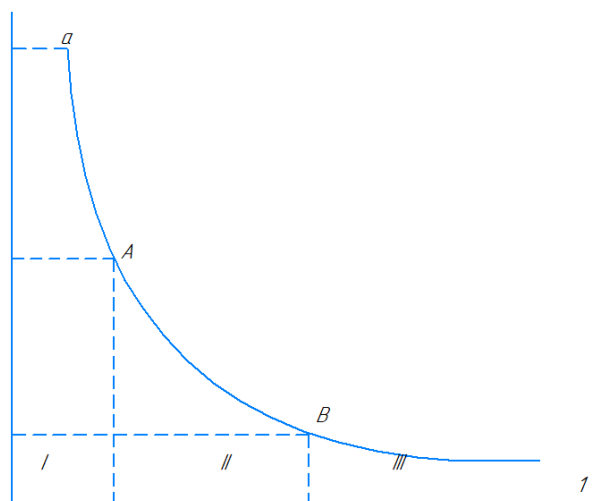


а) жарықтардың өсу қисықтары; б) өміршеңдік диаграммасы
 Сурет 1. Суық жағдайда (-20°тан -60°)шаршау жарықтарының таралуы

Жоғарыда баяндалған заңдылық бөлшектің қалдық беріктігі позициясынан түсіндірілуі мүмкін (2-сурет).

Жарықшақ пайда болған және өскен кезде оның конструкцияның бастапқы (есептік) беріктігін көбірек төмендететін иірімжіптер: белгілі бір кезеңнен кейін беріктігі соншалықты азаяды, конструкция (бөлшек) әсер еткен кезде бұзылуы мүмкін эпизодтық жоғары жүктемелерге шыдай алмайды (2-суреттегі А нүктесі). Мұндай кездейсоқ жоғары жүктемелер болмаған кезде

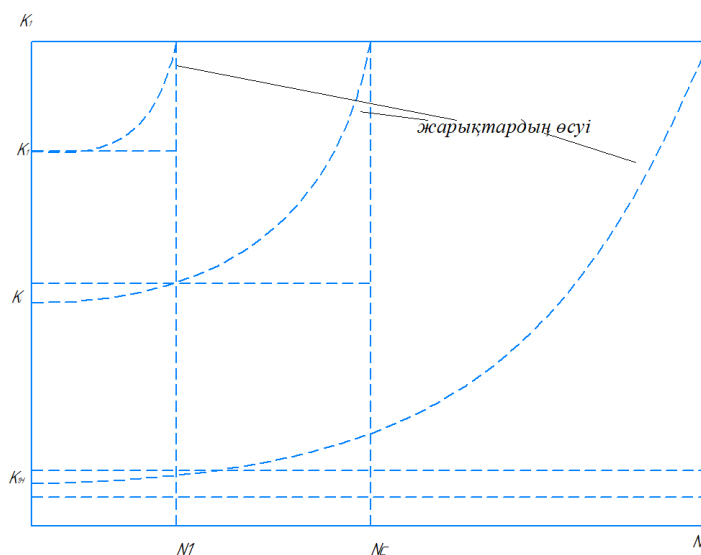
жарықшақ өсуін жалғастырады, конструкцияның қалдық беріктігінің бөлшек жұмыс әкепуляциялық жүктемелер кезінде бұзылатын деңгейге дейін одан әрі төмендеуін тудырады (В нүктесі).



I-қалыпты жұмыс жүктемесі; II - бұзылуы ықтимал, III - қирау; а- қаттылық есептеу, А- күтілетін ең жоғары жүктеме; В - пайдалану жүктемелері.

Сурет 2. Қалдық беріктіктің өзгеру схемасы (Р)жарықтың бұзылуы кезіндегі бөлшектер.

Жарықтың өсу жылдамдығы K_j кернеудің қарқындылығы коэффициентінің шамасымен анықталады: К мәніне дейін жүктелген бөлшек бірден бұзылады: әртүрлі кернеулерге дейін жүктелген бірдей бөлшектер (әр түрлі бастапқы к) әртүрлі уақыттан кейін бұзылады (Р қисығы 2-сурет), К шекті мәнінен кіші К мәніне дейінгі қыздыру бөлшектері бұзылмайды өте ұзақ уақыт бойы. Кернеудің интен-сивтілік коэффициентінің шекті мәні және жарықтың өсу жылдамдығы материалға, қоршаған ортаның жағдайына байланысты (мысалы, коррозиялық жарықтардың дамуы)



Сурет 3. Бөлшек сынғанға дейінгі циклдар санының K_i бастапқы мәніне тәуелділігі (N)

Қорытынды

Салыстырмалы пайдалану жағдайларында, бірақ климаты әртүрлі болған жағдайда рельстік өрмелердің үлестік істен шығуы (дана/млн т брутто) рельстердегі едәуір үлкен (~1,5 есе)

бойы созылатын күштердің неғұрлым ұзақ кезеңінде (~1,6 есе) 30-40% жоғары болуы мүмкін. Рельстік плеттің екі нұсқасы қарастырылды: -20 және -60 ° С температурада және 800 және 1600 кН бойлық күштерде. Есептеу көрсеткендей, жолды жүктеудің орташа жағдайларына тән 160-180 МПа рельстердегі өзге де тең жағдайлар мен кернеу кезінде 11 ақаудың сыни ауданы -20 ° С температурада 6-9% -ға және -60 ° С кезінде 10-13% -ға төмендейді.

Осылайша, біріншіден, кейбір дәрежеде әртүрлі факторлардың жарықтардың сыни алаңына әсерін ескеруге, яғни бүлінген рельстердің жұмысын бақылауға болады. Екіншіден, конструкциялық беріктік параметрлері бойынша, ең алдымен жарыққа төзімділігі бойынша қазіргі заманғы рельстердің белгілі бір қоры бар, бұл ақаулары бар рельстерді пайдалануды жалғастыру туралы мәселені көтеруге мүмкіндік береді.

Түйіспес жолдың ұзындығы артып келеді. Алайда, бұрын атап өтілгендей, рельстік өрмелерде температураның өзгеруінен туындайтын едәуір бойлық күш-жігер жұмыс істейді. Бекіту температурасымен салыстырғанда оның жоғарылауы кезінде жолдың шығуына әкелуі мүмкін бойлық қысу күштері, ал температура төмендеген кезде рельстердің сынуын тудыруы мүмкін созу күштері пайда болады.

Сондықтан бойлық шаршау жарықтары бар рельстің көлденең қимасын күшейту маңызды. Бұл шара бастағы иілгіш созу кернеулерін 30% -ға дейін азайтуға, жарықтардың дамуын бәсеңдетуге, олардың сыни өлшемін рельс басының 60-80% -ға дейін ұлғайтуға және статикалық жүктеме кезінде бұзатын жүктемені 1,5-2,0 есеге арттыруға мүмкіндік береді. Жапсырмаға алынған 11 ақауы бар рельстік өрмелердің жұмысы кезіндегі қозғалыс қауіпсіздігі, сондай-ақ рельстер толассыз сынған жағдайда өрмек ұштарының көлденең ығысуын болдырмау арқылы қамтамасыз етіледі. Рельстік өрмелерді қалпына келтіру үшін «терезе» уақыты айтарлықтай төмендейді.

Әдебиетер тізімі

1. Омарова М.Б. Исследование влияния размеров выкрашивания головки рельса на безопасность движения поездов. Диссертация/ Алматы., КУПС, 2006.
2. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь.-М.:Транспорт.-1987.-479с.
3. Grassie S.L. Проблемы изломы рельса //Ж.д Мира. -2002.-№11. С-68-71
4. Williams R.A. Comparison of classical and optimal control techniques for designing railway vehicle active suspension. //Control'85: International confederation.-Cambridge. 1957 -9-11 July. -Vol.2; London-New-York. 1995.-P521-526
5. Омарова М.Б. Влияние уровня воздействия на путь максимальных осевых нагрузок на геометрические размеры дефекта 11 и скорость роста ВПТ//новости науки Казахстана.-2006.-№3.-С.131-137
6. Жакупова М.Б. Технология газопорошковой наплавки в пути рельсов имеющих выщербины на боковой выкружке рабочей грани//Материалы II Международной конференции «Транспорт Евразии: взгляд XXI век». Алматы: КазАТК, 2002.-Т.7-С. 95-99

Б.Б.Тогизбаева, А.Б. Забиева, А.А. Каражанов, Ж.Р. Алипбаев

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Исследование механики разрушения рельса при возникновении контакто-усталостных дефектов в холодных условиях

Аннотация. При эксплуатации в пути рельсы подвергаются совместному воздействию различных нагрузок (силовых, температурных, атмосферных), под влиянием которых в рельсовом металле происходят сложные и, как правило, взаимосвязанные процессы: пластическая деформация металла, развитие различного вида неровностей на поверхности катания головки.

Возникновение поверхностных повреждений и их развитие, развитие внутренних дефектов контактно-усталостного происхождения — все это приводит к существенным изменениям служебных свойств рельсов. В статье рассмотрены причины возникновения упругих напряжений при вершине трещины в бесконечной пластине во время движения подвижного состава. В результате проведенных исследований были выявлены способы восстановления дефектов в головках рельсов, что позволило поднять вопрос о продолжении эксплуатации рельсов с дефектами.

Ключевые слова: рельсы, дефект, продольная трещина, выщербина, усталостный контактный дефект.

B. Togizbayeva, A. Zabiyeva, A. Karazhanov, Zh. Alipbayev
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Investigation of the mechanics of rail failure in the event of contact fatigue defects in cold conditions

Abstract. During operation in transit, rails are exposed to the combined effects of various loads (power, temperature, atmospheric), under the influence of which complex and usually interrelated processes occur in the rail metal: plastic deformation of metal, the development of various types of irregularities on the surface of the rolling head. The occurrence of surface injuries and their development, the development of internal defects of contact fatigue origin. All this leads to significant changes in the service properties of the rails. The article discusses the causes of elastic stresses at the crack tip in an infinite plate during the movement of rolling stock. As a result of the conducted research, there were identified methods of repairing defects in the rail heads, which allowed raising the issue of continuing operation of rails with defects.

Key words: rails, defect, longitudinal crack, gouge, fatigue contact defect.

References

1. Omarova M.B. Investigation of the influence of the size of the rail head coloring on the safety of train traffic. Dissertation/ Almaty., COURSE, 2006.
2. Shakhunyants G.M. Railway track.-M.:Transport.-1987.-479s.
3. Grassie S.L. Problems of rail fractures //Railway of the world.-2002.-No.11. S-68-71
4. Omarova M.B. Influence of the level of impact on the path of maximum axial loads on the geometric dimensions of defect 11 and the growth rate of VAC//News of science of Kazakhstan.-2006.-No.3.-pp.131-137
5. Williams R.A. Comparison of classical and optimal control techniques for designing railway vehicle active suspension. //Control'85: International conferation.-Cambridge. 1957 -9-11 July. -Vol.2; London-New-York. 1995.-P521-526
6. Zhakupova M.B. Technology of gas-powder surfacing in the way of rails having dents on the side of the working face//Materials of the II International Conference "Transport of Eurasia: a view of the XXI century". Almaty: KazATK, 2002.-Vol.7-pp. 95-99

Авторлар туралы мәлімет:

Тогизбаева Б.Б. – техника ғылымдарының докторы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Забиева А.Б. – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Каражанов А.А. – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия

ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Алимбаев Ж.Р. – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

B. Togizbayeva – doctor of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

A. Zabiyeva – candidate of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

A. Karazhanov – candidate of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Zh. Alipbayev – candidate of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

**Г.Т. Бекманова, А.С. Омарбекова, А. Зулхажав, Б.М. Султан,
Ж. Онаша, Б. Тимур**

*Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
(E-mail: bekmanova_gt@enu.kz, omarbekova_as@enu.kz, zulkhazhav_a_4@enu.kz, sultan_bm_2@enu.kz, zhanbo1988@gmail.com,
berikboltt@gmail.com)*

Цифровые сервисы Университета: мобильное приложение «Smart.ENU»

Аннотация. В Евразийском национальном университете имени Л.Н. Гумилева утверждена «Концепция цифровой экосистемы на 2021-2025 годы», согласно которой поэтапно осуществляется цифровизация и оптимизация бизнес-процессов Университета по всем направлениям деятельности. Согласно концепции все существующие информационные системы Университета интегрированы в единую платформу Smart.ENU для беспрепятственного обмена данными между информационными системами. В статье описана методология разработки цифровых сервисов Университета, на примере мобильного приложения «Smart.ENU». В качестве методов исследования применяются формальные методы моделирования информационных систем, построение UML-диаграмм, прототипирование, концептуальное и логическое моделирование бизнес-процессов. Мобильное приложение Smart.ENU предназначено для обучающихся, ППС, руководства и структурных подразделений Университета. Уникальность приложения заключается в наиболее полном функционале, но без дублирования функций Системы управления обучением.

Ключевые слова: мобильное приложение, умные цифровые сервисы, формальные методы моделирования информационных систем, диаграмма прецедентов, прототипирование, моделирование бизнес-процессов.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-105-115

Введение

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева – ведущий университет Казахстана. По результатам 2022 года наш университет в очередной раз продвинулся в мировом рейтинге вузов QS. Университет за год поднялся с 328-й строчки на 277 место и впервые вошел в ТОП-300 лучших вузов мира [1].

В существующих конкурентных условиях и кризисе, вызванном пандемией Covid 19, университет стремится улучшать предлагаемый опыт, увеличить свои доходы и сократить расходы. Высшее образование в целом и университеты в частности сталкиваются с серьезными проблемами при адаптации к цифровому обществу. Но сама культура университетов, их устойчивость, консервативность порождают инерцию, затрудняют изменение их бизнес- и операционных моделей. Анализ показывает, что высшее образование готово к цифровому прорыву, который нужно осуществлять системно и последовательно, сохраняя накопленные знания и опыт. В рамках реализации Концепции цифровой экосистемы ЕНУ имени Л.Н. Гумилева через цифровое развитие Университета, под которым понимается оптимизация и/или изменение логики процессов Университета в результате внедрения цифровых технологий, предусмотрено расширение цифровизации следующих видов деятельности:

- Академическая деятельность;
- Научная деятельность;
- Международное сотрудничество;

- Социально-гражданское развитие;
- Финансы, экономика и бухгалтерский учет;
- Управление человеческими ресурсами [2].

Одной из важных задач Концепции является создание развитие цифровых сервисов Университета. В данной статье мы рассмотрим Мобильное приложение «Smart.ENU», созданное Департаментом цифрового развития и дистанционного обучения в 2021 году [3].

1 Задачи мобильного приложения

Мобильное приложение Университета позволяет решать следующие задачи:

- Информирование. Любой пользователь приложения должен иметь доступ к информации об Университете, новостях, мероприятиях и объявлениях.
- Аутентификация. Приложение служит пропуском в Университет взамен любого другого вида пропуска.
- Обратная связь. Приложение служит средством для обратной связи.

Главная цель создания мобильного приложения - улучшить качество цифровых сервисов, предоставляемых обучающимся, их расширение и повышение качества обслуживания, и, следовательно, создание комфортных условий для всех участников образовательного процесса в рамках цифровой экосистемы.

Созданное мобильное приложение «Smart.ENU» создано в 2021 году в ЕНУ впервые и обладает рядом функций, которыми не обладают казахстанские аналоги.

Лучшие мировые университеты имеют мобильные приложения, которые значительно повысили свою востребованность в период пандемии Covid-19, а к качеству и количеству цифровых сервисов, оказываемых мобильными приложениями, предъявляются новые требования. Например, в рейтинге мобильных приложений Appademy Awards мобильные приложения ранжируются в рамках самого различного функционала [4]. Среди приложений, которые объединяют модули, персонажей, туры и / или другие функции для абитуриентов, особое внимание уделяется творчеству.

В качестве методов исследования применяются формальные методы моделирования информационных систем, диаграмма прецедентов, прототипирование, концептуальное и логическое моделирование бизнес-процессов.

2 Пользователи мобильного приложения «Smart.ENU»

Мобильное приложение Smart.ENU предназначено для обучающихся, ППС, руководства и структурных подразделений Университета, в нем предусмотрены следующие роли и функционал пользователей:

- **Обучающийся.** Просмотр объявлений Университета, получение уведомлений от ППС, заведующих кафедрами, деканов, структурных подразделений, проректоров, ректора. Подача обращений на имя заведующего, декана, структурных подразделений, проректора, ректора, а также публикация новостей.
- **ППС.** Просмотр объявлений Университета, получение уведомлений от заведующего, декана, структурных подразделений, проректоров, ректора. Рассылка уведомлений обучающимся.
- **Заведующий кафедрой.** Просмотр объявлений Университета, получение уведомлений от декана, структурных подразделений, проректоров, ректора. Рассылка уведомлений обучающимся и ППС. Формирование ответа на обращения от обучающихся.

– **Декан.** Просмотр объявлений Университета, получение уведомлений от структурных подразделений, проректоров, ректора. Рассылка уведомлений обучающимся и ППС. Формирование ответа на обращения от обучающихся.

– **Проректор.** Просмотр объявлений Университета, получение уведомлений ректора. Рассылка уведомлений обучающимся и ППС. Формирование ответа на обращения от обучающихся.

– **Ректор.** Просмотр объявлений Университета. Формирование ответа на обращения от обучающихся.

– **Структурные подразделения.** Возможность отправлять уведомления и отвечать на обращения обучающихся, ввод данных о предстоящих мероприятиях.

– **Информационный центр.** Ввод новостей на 3 языках.

– **Департамент по социальному и гражданскому развитию.** Ввод новостей на 3 языках, модерация студенческих новостей.

– **Канцелярия.** Модерация обращений обучающихся.

Рассылка уведомлений обучающимся возможна через поиск по фамилии, группе, курсу, образовательной программе, факультету, кафедре; ППС - по фамилии, факультету, кафедрам.

Подобное разделение на пользователей и функционал продиктовано реальной структурой Университета и выполняемыми функциями и в случае необходимости может быть изменено согласно запросам.

3 Прототип мобильного приложения

С целью эффективного моделирования, а также согласования интерфейса разработан прототип мобильного приложения: <https://clck.ru/y6Jbt>.

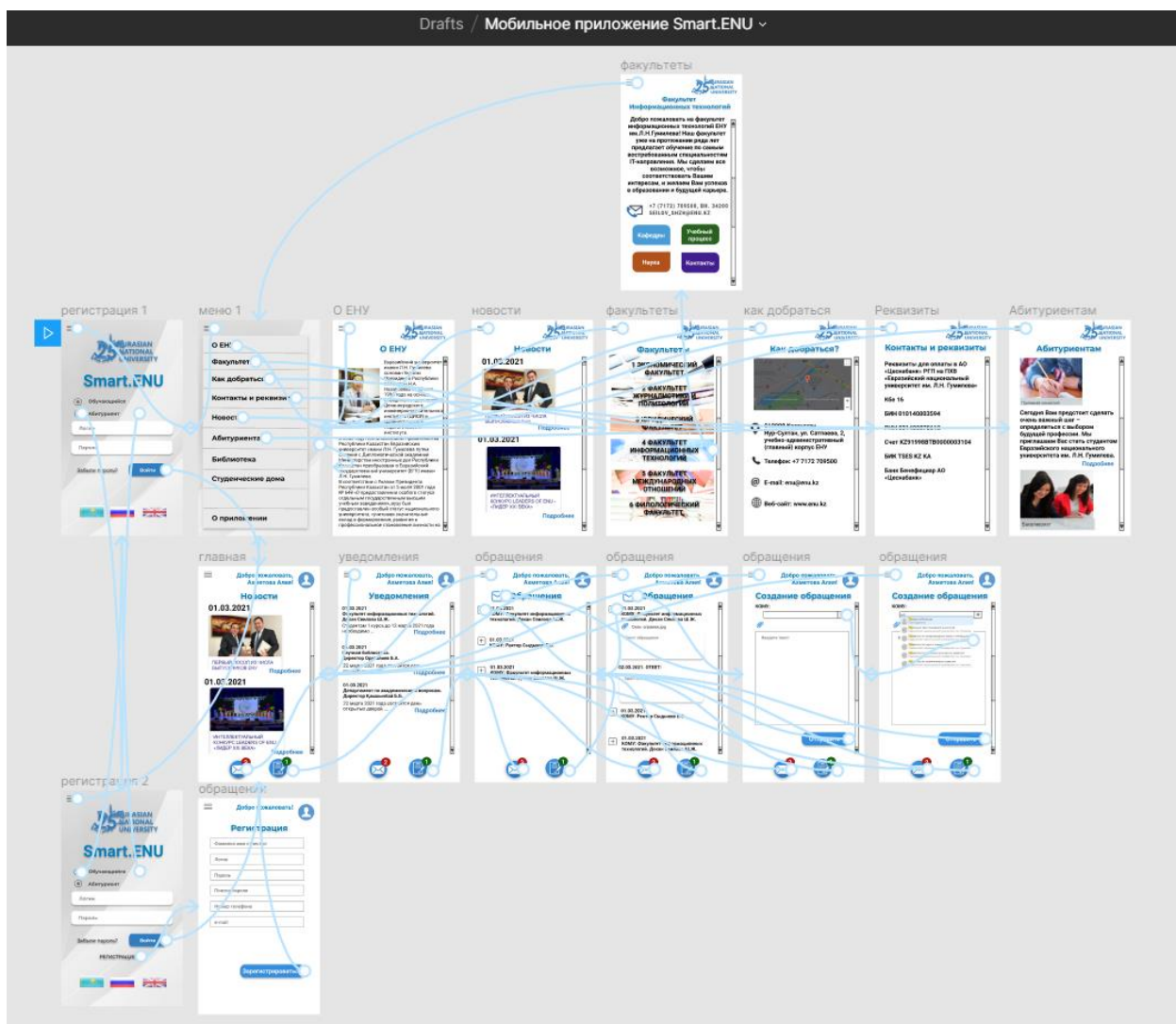


Рисунок 1. Прототип мобильного приложения

4 Диаграмма прецедентов

Мобильное приложение содержит справочную информацию, новостной блок, блок часто повторяющихся вопросов, объявления о предстоящих мероприятиях, сервис обработки обращений обучающихся, получение уведомлений, заказ справок в Центре обслуживания обучающихся.

Статичная справочная информация (о факультетах, кафедрах, образовательных программах, часто задаваемые вопросы, как добраться, реквизиты, о студенческих домах, абитуриентам и т.д.) будет загружена на мобильные устройства при установке приложения, будет доступна при работе приложения без доступа в интернет. Информация в приложении будет обновляться при подключении мобильного устройства в сеть Интернет.

Диаграмма прецедентов:

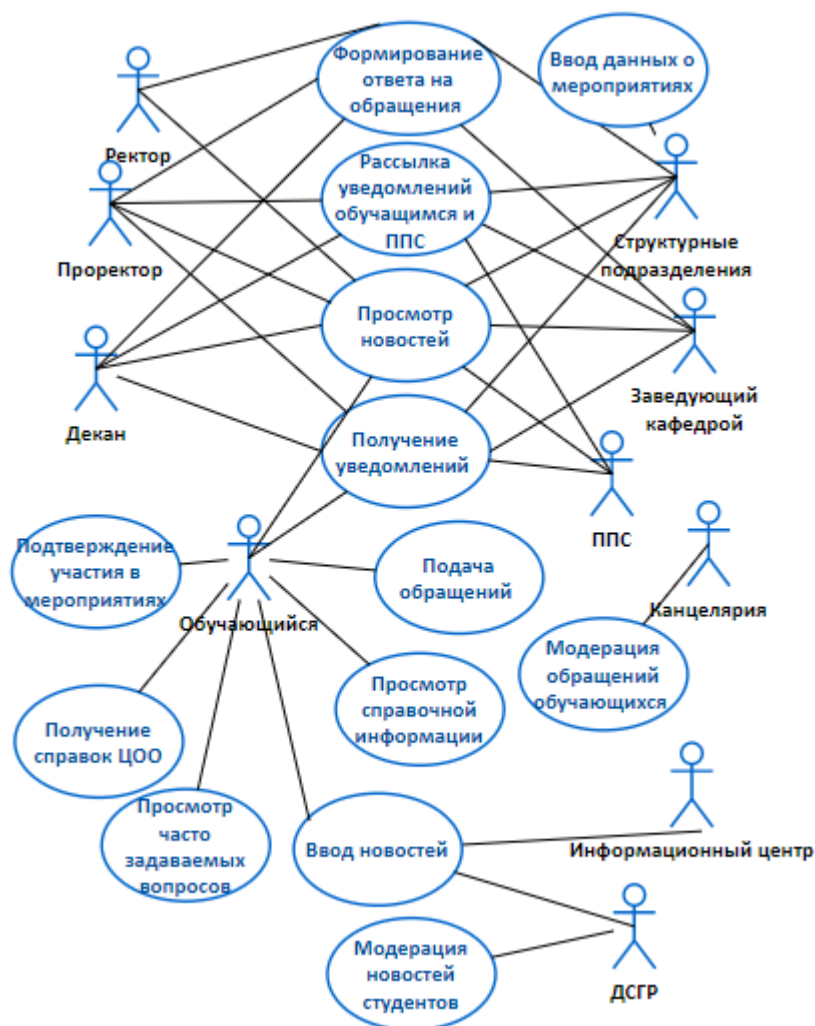


Рисунок 2. Диаграмма прецедентов

Структура приложения <https://clck.ru/y6JeU>.

Структура меню:

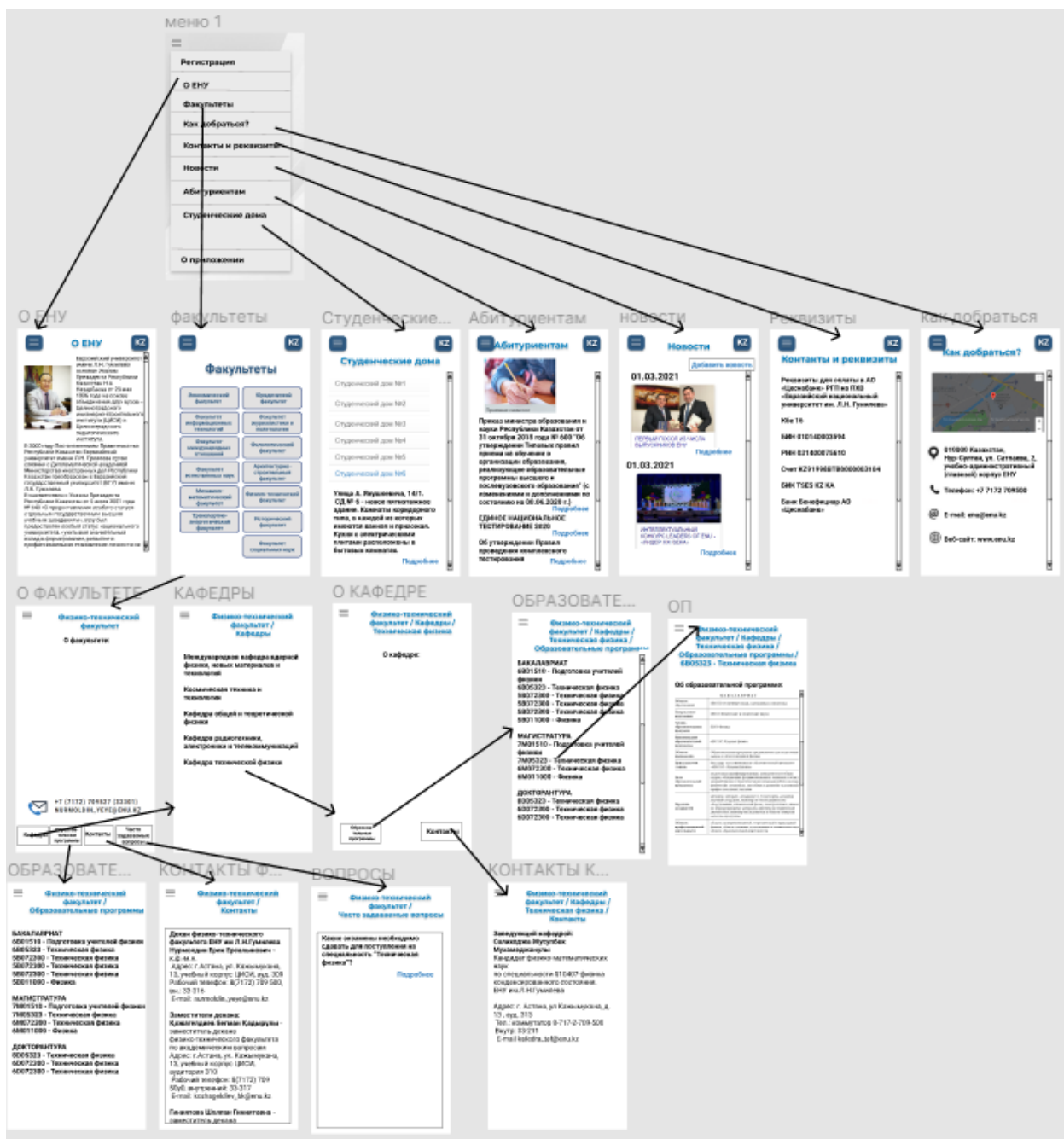


Рисунок 3. Структура меню

5 Бизнес-процессы

5.1 Публикация новостей.

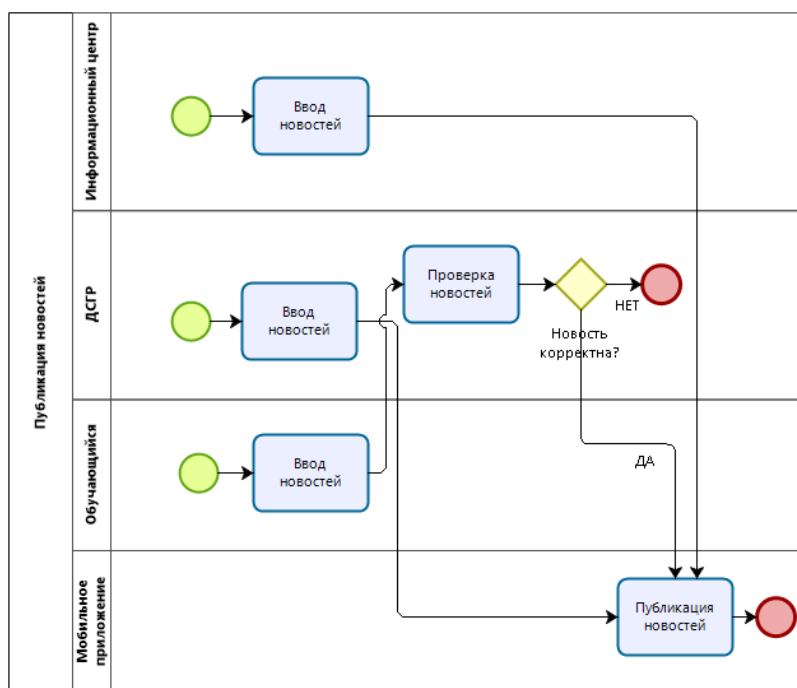


Рисунок 4. Бизнес-процесс публикации новостей

Вводить новости могут Информационный центр, Департамент по социальному и гражданскому развитию, обучающийся. Новости обучающихся должны пройти модерацию у ДСГР.

5.2 Публикация мероприятий.

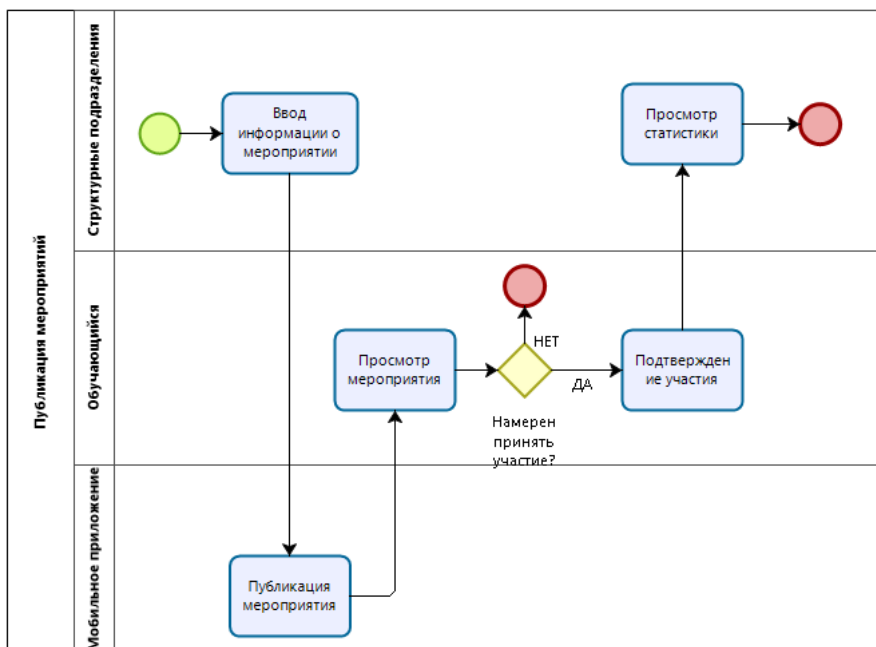


Рисунок 5. Бизнес-процесс публикации мероприятий

Структурные подразделения вводят информацию о предстоящем мероприятии, обучающиеся при необходимости подтверждают участие.

5.3 Обращение обучающихся.

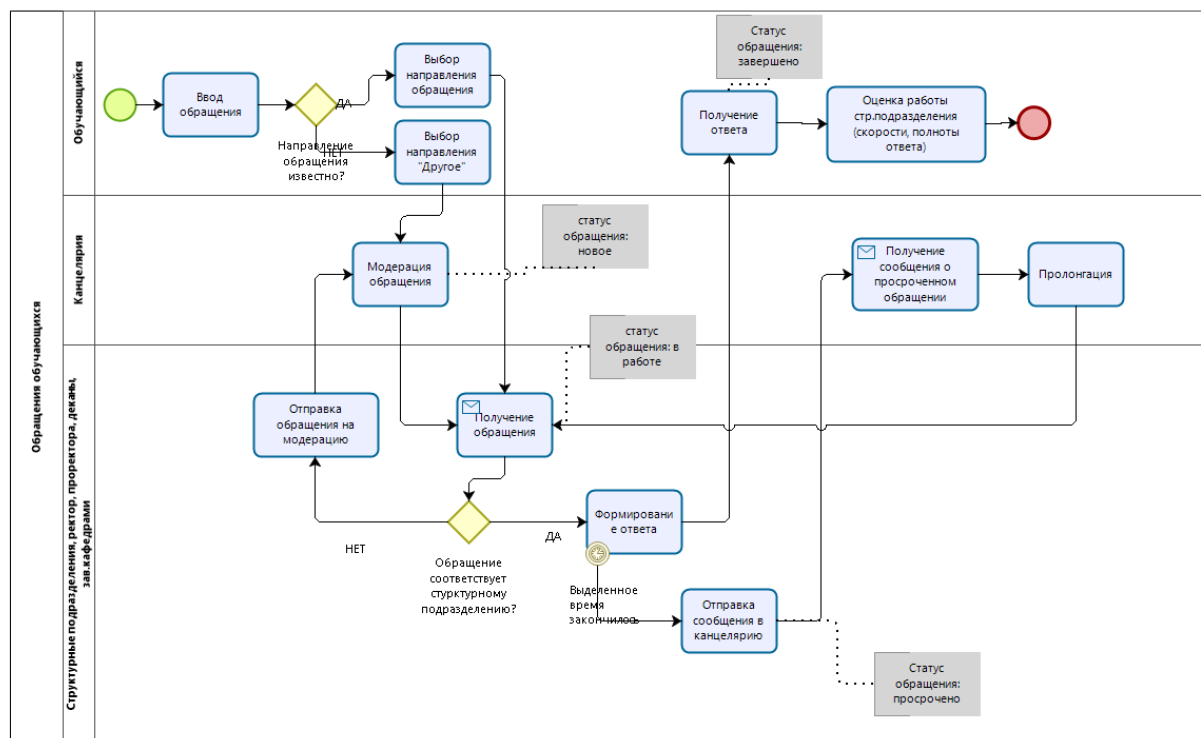


Рисунок 6. Бизнес-процесс обращения обучающихся

Обращение может иметь статусы: новое, в работе, просрочено, завершено.

Обращения имеют возможность подавать обучающиеся (статус: новое).

Если обучающий знает направление обращения, выбирает направление из списка. Обращение отправляется соответствующему структурному подразделению. Если деятельность отдела не соответствует тематике обращения, сотрудник отправляет обращение на модерацию.

Если обучающий не знает направление обращения – выбирает направление «Другое». В этом случае обращение попадает в канцелярию на модерацию. Канцелярия проверяет обращение и направляет соответствующему структурному подразделению.

Структурные подразделения должны ответить в течение определенного времени (время устанавливается в настройках приложения) (статус: в работе). Если выделенное время прошло, в канцелярию поступает информация о просроченном обращении (статус: просрочено). Канцелярия связывается с соответствующим структурным подразделением, устанавливает новый срок исполнения (статус: просрочено). Если ответ на обращение сформировано, обращение получает статус «Завершено». После получения ответа обучающийся имеет возможность оценить работу структурного подразделения (скорость и полноту ответа на обращение).

6 Интеграция с ASHYQ и системой контроля управления доступом Ресо

В период пандемии Covid-19 остро стал вопрос интеграции мобильного приложения с базой данных ASHYQ, хранящей информацию о зараженных и контактных лицах с коронавирусной инфекцией. Необходимость использования ASHYQ привела к образованию очередей на входах Университета, поскольку возникла необходимость считывания QR кода при входе и демонстрации службе охраны статуса базы данных ASHYQ. Также требовалась дополнительная верификация входящего с помощью электронного пропуска системой контроля управления доступом Ресо, поскольку турникет открывается после считывания электронного пропуска. Мобильное приложение объединило данные две функции: после считывания QR-кода и обращения к базе данных ASHYQ обучающимся и всем сотрудникам Университета

автоматически открывался турникет. Каждый входящий должен был иметь мобильное приложение Smart.ENU и заранее авторизоваться в нем. Реализация данного функционала позволила значительно сократить время вхождения в корпуса, сократить очереди и дать возможность входящим соблюдать дистанцию друг от друга.

Заключение

В условиях трансформации Университета в цифровой вуз анализируются существующие бизнес-процессы, формализуются и оптимизируются некоторые из них во избежание дублирования, а также уменьшается избыточность действий, выполняемых пользователями. Разработанное мобильное приложение размещено на Google Play Store, App Store и доступно для скачивания. Приложение требует авторизации для использования полного функционала, однако авторизация не нужна для абитуриентов и всех желающих ознакомиться со справочной информацией об Университете.

Приложение охватывает основные бизнес-процессы для мобильного приложения Университета. Его уникальность заключается в наиболее полном функционале, при этом приложение не дублирует функции Системы управления обучением (LMS), так как для этих функций существуют и мобильная версия, и мобильное приложение LMS, в котором доступен весь ее интерфейс. Несомненно, что Smart.ENU обращается к пользователям LMS, именно так оно определяет актуальных пользователей и их роли, а также обращается к базе данных ASHYQ и системе контроля управления доступом, что позволяет организовать бесконтактный и быстрый доступ в корпуса Университета.

Список литературы

1. QS World University Rankings 2023: лучшие мировые университеты [Электрон. ресурс]. – 2023. – URL: <https://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2023> (дата обращения: 22.12.2022).
2. Новости Университета. Заседание ректората №4. [Электрон. ресурс]. – 2020. – URL: <https://enu.kz/ru/info/novosti-enu/61409/> (дата обращения: 22.12.2022).
3. Новости Университета. Презентация мобильного приложения SMART ENU. [Электрон. ресурс]. – 2021. – URL: <https://enu.kz/ru/info/novosti-enu/63485/> (дата обращения: 22.12.2022).
4. Рейтинг мобильных приложений Appademy Awards. [Электрон. ресурс]. – 2023. – <https://modolabs.com/type/ebook-guide/modo-appademy-awards-2022-submissions-extended-to-july-20/> (дата обращения: 22.12.2022).

**Г.Т. Бекманова, А.С. Омарбекова, А. Зулхажав, Б.М. Султан,
Ж. Онаша, Б. Тимур**

Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Университеттің цифрлық сервистері: «Smart.ENU» мобильді қосымшасы

Аңдатпа. Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінде "2021-2025 жылдарға арналған цифрлық экожүйе тұжырымдамасы" бекітілді, оған сәйкес қызметтің барлық бағыттары бойынша Университеттің бизнес-процестерін цифрландыру және оңтайландыру кезең-кезеңімен жүзеге асырылады. Тұжырымдамаға сәйкес университеттің барлық қолданыстағы ақпараттық жүйелері бірыңғай Smart.ENU платформасына біріктірілген. Ол ақпараттық жүйелер арасында деректерді кедергісіз алмасуға арналған. Мақалада «Smart.ENU» мобильді қосымшасы негізінде жасалған зерттеу әдістері сипатталады. Ақпараттық жүйелерді модельдеудің ресми әдістері, UML

диаграммаларын құру, прототиптеу, бизнес-процестерді тұжырымдамалық және логикалық модельдеу қолданылады. Smart.ENU мобильді қосымшасы студенттерге, ПОҚ, университет басшылығы мен құрылымдық бөлімшелеріне арналған. Қосымшаның бірегейлігі неғұрлым толық функционалда жатыр, яғни оқытуды басқару жүйесінің функцияларын қайталамайды.

Түйін сөздер: мобильді қосымша, ақылды цифрлық сервистер, ақпараттық жүйелерді модельдеудің формальды әдістері, прецеденттер диаграммасы, прототиптеу, бизнес-процестерді модельдеу.

**G.T. Bekmanova, A.S. Omarbekova, A. Zulkhazhav, B.M. Sultan,
Zh. Onasha, B. Timur**
L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Digital services of the University: mobile application "Smart.ENU"

Abstract. In the L.N. Gumilyov Eurasian National University, there was discovered the “Concept of a digital ecosystem for 2021–2025”, according to which the digitalization and optimization of the University’s business processes in all areas of activity were carried out in stages. According to the identification of all senses, coming in a single “Smart.ENU” package for seamless data exchange between information studies. The article describes the methodology for developing digital services of the University, based on the mobile application "Smart.ENU". Formal methods of modeling information systems, building UML diagrams, prototyping, and conceptual and logical modeling of business processes are used as research methods. The Smart.ENU mobile application is intended for students, teaching staff, received and structural divisions of the University. The uniqueness of the application includes the most complete functionality, but without duplicating the functions of the Learning Management System.

Keywords: mobile application, smart digital services, formal methods of information systems, precedent diagram, prototyping, business process modeling.

References

1. QS World University Rankings 2023: Top global universities [Electronic resource]. – 2023. – URL: <https://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2023> (Accessed: 22.12.2022).
2. News of the University. Administration meeting №4. [Electronic resource]. – 2020. – URL: <https://enu.kz/ru/info/novosti-enu/61409/> (Accessed: 22.12.2022).
3. News of the University. Presentation of the mobile application SMART ENU. [Electronic resource]. – 2021. – URL: <https://enu.kz/ru/info/novosti-enu/63485/> (Accessed: 22.12.2022).
4. Appademy Awards Mobile App Rating. [Electronic resource]. – 2023. – <https://modolabs.com/type/ebook-guide/modo-appademy-awards-2022-submissions-extended-to-july-20/> (Accessed: 22.12.2022).

Сведения об авторах:

Бекманова Г.Т. – Ph.D., кандидат технических наук, директор Департамента цифрового развития и дистанционного обучения, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

Омарбекова А.С. – кандидат технических наук, заместитель директора Департамента цифрового развития и дистанционного обучения, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

Зулхажав А. – менеджер сектора цифрового развития, Евразийский национальный

университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

Султан Б.М. – старший разработчик программного обеспечения, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

Онаша Ж. – архитектор программного обеспечения, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

Тимур Б. - архитектор программного обеспечения, Астана, Казахстан.

Bekmanova G.T. – Ph.D., Candidate of Technical Sciences, Director of the Department of Digital Development and Distance Learning, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Omarbekova A.S. – Candidate of Technical Sciences, Director of the Department of Digital Development and Distance Learning, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Zulkhazhav A. – Digital Development Sector Manager, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Sultan B.M. - senior software developer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Onasha Zh. - Software Architect, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Timur B. - Software Architect, Astana, Kazakhstan.

Топологический анализ невыровненных аудио- и текстовых данных

Аннотация. Авторами выполнена предварительная работа по топологическому анализу аудио- и текстовых данных для неконтролируемой обработки речи. Работа основана на предположении, что частоты фонем и контекстуальные отношения схожи в акустической и текстовой областях одного и того же языка. Соответственно, это позволило создать отображение между этими пространствами, учитывающее их геометрическую структуру. В качестве первого шага были выбраны генеративные методы, основанные на вариационных автоэнкодерах, для отображения аудио- и текстовых данных в два скрытых векторных пространства. На следующем этапе методы персистентной гомологии используются для анализа топологической структуры двух пространств. Хотя полученные результаты подтверждают идею сходства двух пространств, необходимы дальнейшие исследования для корректного отображения акустического и текстового пространств, а также для оценки реального эффекта от включения топологической информации в процесс обучения автоэнкодера

Ключевые слова: неконтролируемая обработка речи, вариационные автокодировщики, встраивание слов, топологический анализ данных, постоянная гомология и диаграммы.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-116-126**Введение**

Топологический анализ данных (ТДА) [1, 2] — относительно новая область интеллектуальной обработки неструктурированных данных. Он появился в результате компьютерной реализации методов алгебраической топологии [3]. Эвристически идея состоит в том, чтобы построить «форму» для «облака точек» в пространствах не слишком высокой размерности. Формы представляют собой симплициальные комплексы, т. е. множества, образованные вершинами, ребрами, гранями, тетраэдрами и т.д., полученные в результате процедуры фильтрации: покрытия облака точек шарами переменного радиуса или просто шкалы близости в соответствующей метрике. Синхронное увеличение радиусов шаров приводит к их пересечениям, которые кодируются элементами комплекса: ребрами и гранями. Комплекс позволяет вычислять топологические инварианты — так называемые числа Бетти, которые, грубо говоря, измеряют количество k -мерных дырок. Однако топология, получаемая с помощью покрытий, существенно зависит от выбранного пространственного масштаба. Первоначальное решение заключалось в одновременной оценке инвариантов по всем шкалам. Связи между инвариантами на разных масштабах кодируются их временем жизни в процессе фильтрации в виде диаграммы персистентности [4]. Грубо говоря, постоянство — это метафора времени жизни, выраженная в единицах шкалы расстояний, топологический паттерн, например, появление цикла и превращение его в грань. Были получены нетривиальные теоремы об устойчивости персистентных диаграмм по отношению к возмущениям [5], что сделало вычислительную топологию универсальным неметрическим аппаратом для анализа различных объектов [5, 6, 7, 8, 9].

Методология

Две точки пространства признаков соединены ребром, если расстояние между ними в подходящей метрике не превосходит заданного малого числа ε . Говоря формальным языком, речь идет о понятии так называемой ε -связной цепи Кантора. Так называется последовательность неэквилидистантных точек, в которой количество линейно связанных компонент зависит от выбранного пространственного разрешения. Другими словами, мы объединяем две составляющие в одну, если наше зрение не разделяет их отдельно по шкале $\leq \varepsilon$.

Цепная близость приводит к понятию нерва топологического покрытия множества точек. Пусть $S = \{v_i\}_{i=1}^N$ — конечное множество точек из R^2 . Украсьте каждую точку диском $B(v_i, \varepsilon)$ с центром в v_i и радиусом ε . Напомним, что структура, состоящая из простейших (simplicissima) элементов - вершин, ребер и треугольных граней, называется симплициальным комплексом, если ее соседние элементы пересекаются в точке или имеют общее ребро. Одновременно будем увеличивать радиусы дисков. Пересечение полученных элементов растяжения приводит к симплициальному комплексу, который называется комплексом Чеха:

$$K(S, \varepsilon) = \bigcap_{i=1}^N B(v_i, \varepsilon) \quad (1)$$

Чтобы получить собственно нерв, мы соединяем соседние точки ребром, когда соответствующие им соседние диски пересекаются. Кроме того, условимся, что пересечение трех соседних дисков порождает грань, т.е. «заштрихованный» треугольник. С увеличением радиусов комплекс структурно упрощается и превращается в одну «заштрихованную» грань (Рисунок 1). Этот процесс в алгебраической топологии называется фильтрацией [10]. Напомним, что раздувание или расширение диска - одна из основных операций в математической морфологии - сложение по Минковскому, которое принято обозначать как $S \oplus \varepsilon$ [7]. Как и прежде, украсим каждую точку множества диском S радиуса ε . Объединение этих дисков называется параллельным телом $S \oplus \varepsilon$ для S или накрытием Минковского. Теорема о нервах утверждает, что комплекс Чеха (1) для множества S и его покрытие Минковского $S \oplus \varepsilon$ гомотопны друг другу [10]:

$$K(S, \varepsilon) \sim S \oplus \varepsilon \quad (2)$$

Другими словами, объединение кругов покрытия Минковского можно «сжать» непрерывной деформацией до симплициального комплекса Чеха: заметим, что гомотопия допускает «слипание» точек. С другой стороны, теорема позволяет сравнивать два пространства с точностью до их аппроксимации комбинаторными комплексами, нагруженными целочисленными топологическими инвариантами. Отметим, что существенными элементами комплекса являются число отдельных ε -различимых компонент, измеряемое так называемым числом Бетти β_0 , и число независимых классов незаполненных дыр, т.е. циклов, образованных замкнутой цепочкой ребер. Их количество измеряется числом Бетти β_1 .

С точки зрения распознавания образов, при построении фильтрации мы меняем наш допуск определения взаимосвязи между признаками от наименьшего, когда соседние точки не пересекаются со своими окрестностями - дисками, до наибольшего, когда точка родственна или подобна всем точкам в пространстве признаков, т.е. включенным в единый торец. Очевидно, что в этой процедуре времена жизни каждой точки до ее включения в ребро и каждого отверстия до ее исчезновения (затенения) различны. Продолжительность жизни или постоянство можно измерить интервалом изменения радиусов дилатации от рождения до разрушения ребра или отверстия. Такие отличия изображаются набором горизонтальных отрезков - штрих-кодов, параллельных оси изменения радиуса (Рисунок 1).

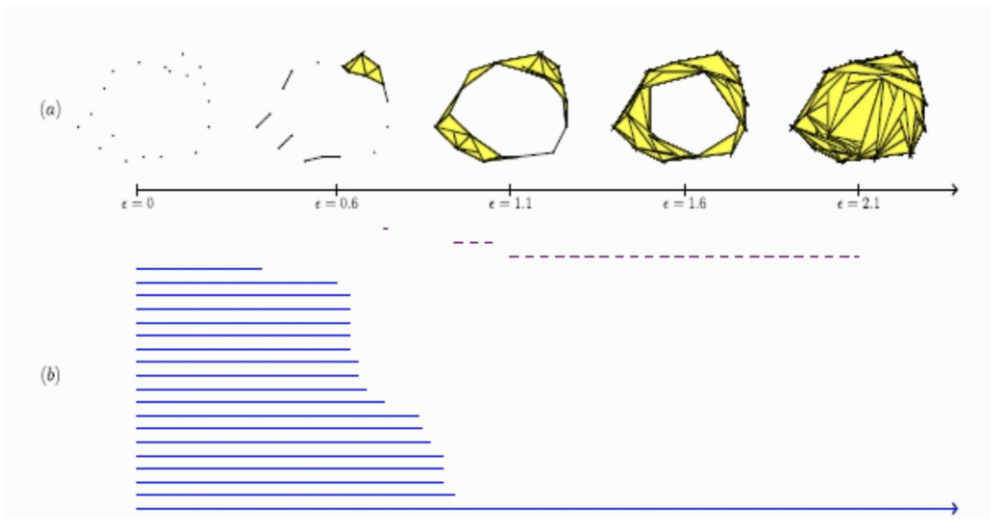


Рисунок 1. Пример (а) фильтрация (симплициальные комплексы для различных ϵ) и (б) персистентные штрих-коды, построенные на облаке точек

Штрих-коды удобнее представлять в виде персистентной диаграммы, облака точек на плоскости, координатами каждой из которых являются начало и конец штрих-кода (Рисунок 2). Все точки, естественно, лежат выше диагонали, что соответствует нулевому времени жизни [4]. Все вышеперечисленные техники относятся к вычислению персистентных гомологий методами вычислительной топологии. Так называется компьютерная версия алгебраической топологии — науки, активно развивающейся в последние годы [6, 11]. В следующем разделе мы даем более формальное определение персистентных гомологий и диаграмм.

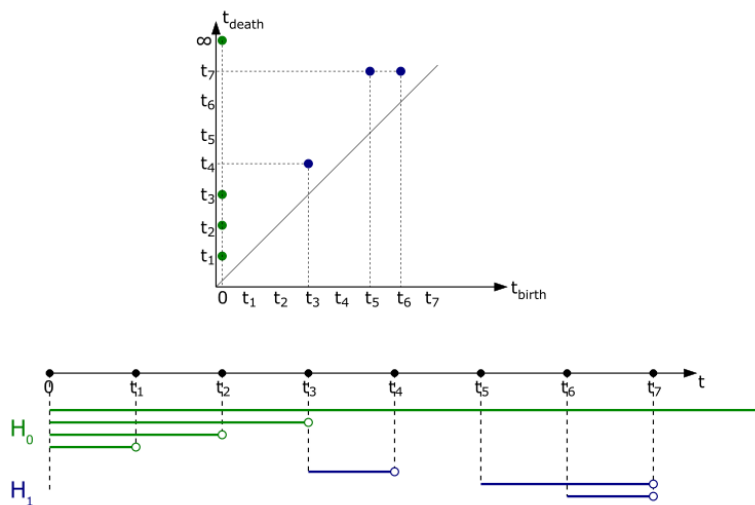


Рисунок 2. Связь между постоянными штрих-кодами и диаграммами

Рассмотрим симплициальный комплекс K и функцию $f: K \rightarrow R$ [5]. Мы хотим, чтобы f была монотонной, что означает, что она не убывает вдоль возрастающих цепочек граней, т. е. $f(\sigma) \leq f(\tau)$, если σ — грань τ . Монотонность означает, что множество подуровней $K(a) = f^{-1}(-\infty, a]$ является подкомплексом K для любого $a \in R$. Пусть m будет количеством симплексов в K , мы получим $n + 1 \leq m + 1$ различных подкомплексов, которые упорядочим в виде возрастающей вложенной последовательности комплексов: $\emptyset = K_0 \subseteq K_1 \subseteq \dots \subseteq K_n = K$.

Другими словами, если $a_0 < a_1 < \dots < a_n$ — значения функций симплексов в K и $a_0 = -\infty$, то $K_i = K(a_i)$ для каждого i . Эту последовательность комплексов мы называем фильтрацией f и воспринимаем ее как конструкцию, добавляющую фрагменты симплексов в процессе их

агрегации в покрывающий комплекс. Мы уже видели примеры фильтрации раньше, а именно, комплекс Чеха. Нас больше интересует топологическая эволюция, выражаемая соответствующей последовательностью групп гомологий. Для каждого $i \leq j$ у нас есть отображение включения из основного пространства K_i в пространство K_j и, следовательно, индуцированный гомоморфизм $f_p^{i,j}: H_p(K_i) \rightarrow H_p(K_j)$ для каждой размерности p . Таким образом, фильтрации соответствует последовательность групп гомологий, связанных гомоморфизмами:

$$0 = H_p(K_0) \rightarrow H_p(K_1) \rightarrow \dots \rightarrow H_p(K_n) = H_p(K) \tag{3}$$

то же самое для каждого измерения p . При переходе от K_{i-1} к K_i мы можем получить новые классы гомологии и можем потерять некоторые из них, когда они станут тривиальными или сольются друг с другом. Мы собираем классы, которые рождаются при или до определенного порога и умирают после другого порога в группы.

Определение. p -е персистентные группы гомологий — это образы гомоморфизмов, индуцированных включением $H_p^{i,j} = \text{im} f_p^{i,j}$ для $0 \leq i \leq j \leq n$. Соответствующие p -е персистентные числа Бетти являются рангами этих групп, $\beta_p^{i,j} = \text{rank } H_p^{i,j}$. Точно так же мы определяем редуцированные персистентные группы гомологии и редуцированные персистентные числа Бетти. Обратите внимание, что $H_p^{i,i} = H_p(K_i)$. Постоянные группы гомологии состоят из классов гомологии K_i , которые все еще «живы» в K_j , или, более формально, $H_p^{i,j} = Z_p(K_i) / (B_p(K_j) \cap Z_p(K_i))$. У нас есть такая группа для каждой размерности p и каждой пары индексов $i \leq j$. Мы можем быть более конкретными в отношении классов, учитываемых стойкими группами гомологии. Пусть γ — класс в $H_p(K_i)$, мы говорим, что он родился в K_i , если $\gamma \notin H_p^{i-1,i}$. Далее, если γ рождается в K_i , то умирает, входя в K_j , если сливается со старшим классом при переходе из K_{j-1} в K_j , то есть $f_p^{i,j-1}(\gamma) \notin H_p^{i-1,j-1}$, но $f_p^{i,j}(\gamma) \in H_p^{i-1,j}$ (Рисунок 3). Если γ рождается в K_i и умирает, входя в K_j , то мы называем разницу в постоянстве значения функции $\text{pers}(\gamma) = a_j - a_i$. Если γ рождается в K_i , но никогда не умирает, то мы устанавливаем его постоянство на бесконечность.

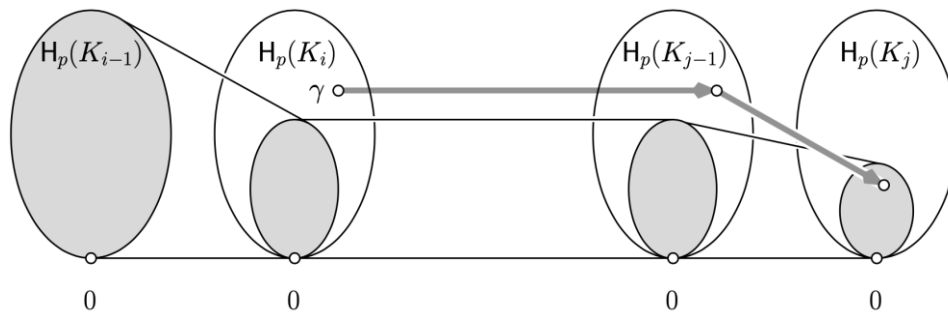


Рисунок 3. Группы гомологий и гомоморфизмы

Визуализация набора постоянных чисел Бетти осуществляется путем рисования точек в двух измерениях [5]. Некоторые из этих точек могут иметь координаты, равные бесконечности, а некоторые могут быть одинаковыми, поэтому мы действительно говорим о мультимножестве точек в расширенной вещественной плоскости, $\bar{R}^2 = (R \cup \{\pm\infty\})^2$. Обозначая $\mu_p^{i,j}$ как количество независимых p -мерных классов, которые рождаются в K_i и умирают при входе в K_j , имеем:

$$\mu_p^{i,j} = (\beta_p^{i,j-1} - \beta_p^{i,j}) - (\beta_p^{i-1,j-1} - \beta_p^{i-1,j}), \tag{4}$$

для всех $i < j$ и всех p . Действительно, первая разность в правой части подсчитывает

классы, которые родились в (или раньше) K_i и умирают при входе в K_j , а вторая разность подсчитывает классы, родившиеся в (или раньше) K_{i-1} и умирающие при входе в K_j . Проводя каждую точку (a_i, a_j) с кратностью $\mu_p^{i,j}$, мы получаем p диаграмму персистентности данной фильтрации, обозначаемую как $Dgmp(f)$. Он представляет класс в виде точки, расстояние по вертикали до диагонали которой является постоянством. Так как кратности определены только при $i < j$, то все точки лежат выше диагонали. По техническим причинам мы добавляем точки на диагонали диаграммы с бесконечной кратностью. Примеры диаграмм постоянства можно увидеть на Рисунке 4. Постоянные числа Бетти легко вычислить. В частности, $\beta_p^{i,j}$ — количество точек в верхнем левом квадранте с угловой точкой (a_k, a_l) . Класс, родившийся в K_i и умерший в K_j , считается тогда и только тогда, когда $a_i \leq a_k$ and $a_j > a_l$. Таким образом, квадрант закрыт по вертикали справа и открыт по горизонтали снизу.

Основная лемма о стойких гомологиях. Пусть $\emptyset = K_0 \subseteq K_1 \subseteq \dots \subseteq K_n = K$ фильтрация. Для каждой пары индексов $0 \leq k \leq l \leq n$ и каждой размерности p p -е постоянное число $\beta_p^{i,j} = \sum_{i \leq k} \sum_{j > l} \mu_p^{i,j}$.

Это важное свойство. В нем говорится, что диаграмма персистентности кодирует всю информацию о персистентных гомологических группах.

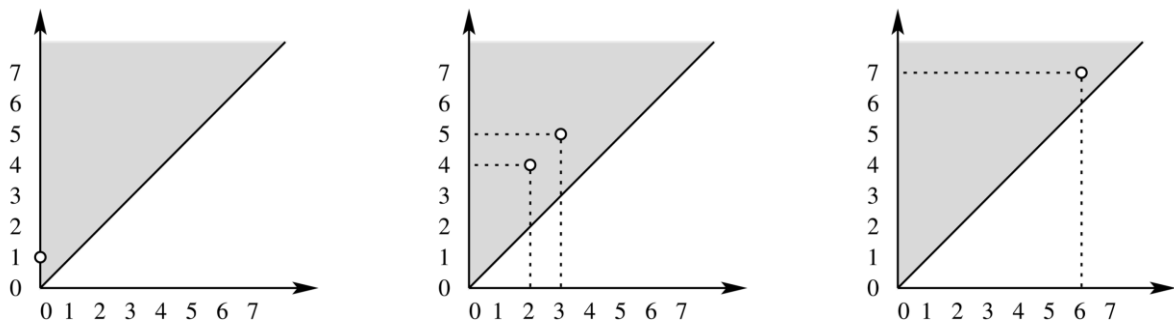


Рисунок 4. Примеры постоянных диаграмм

Вариационные автоэнкодеры (VAE) [12, 13] определяют вероятностный порождающий процесс между наблюдением x и скрытой переменной z следующим образом: $z \sim p_\theta(z)$ и $x \sim p_\theta(x|z)$, где $p_\theta(z)$ и $p_\theta(x|z)$ — функции распределения вероятностей, параметризованные по θ . В системе обучения без учителя нам дается только набор данных $X=\{x_i\}$, но истинное значение θ и скрытая переменная z для каждого наблюдения x неизвестны. Часто нас интересует предельная вероятность данных $p_\theta(x)$ или $p_\theta(z|x)$. Однако оба требуют вычисления сложного интеграла $\int p_\theta(z) p_\theta(x|z) dz$.

Для решения этой проблемы в VAE вводится модель распознавания $q_\phi(z|x)$, которая аппроксимирует истинную вероятность $p_\theta(z|x)$. Следовательно, мы можем переписать предельную вероятность как:

$$\log p_\theta(x) = D_{KL}(q_\phi(z|x) || p_\theta(z|x)) + L(\theta, \phi; x) \geq L(\theta, \phi; x) = -D_{KL}(q_\phi(z|x) || p_\theta(z)) + E_{q_\phi(z|x)}[\log p_\theta(x|z)] \tag{5}$$

где $L(\theta, \phi; x)$ — вариационная нижняя граница (ELBO), которую мы хотим оптимизировать по отношению к θ и ϕ . Оптимизация ELBO по θ и ϕ осуществляется с использованием стохастической вариации градиента Байеса (SGVB).

В рамках VAE предполагается, что модель распознавания $q_\phi(z|x)$ и порождающая модель $p_\theta(x|z)$ параметризуются с помощью диагональных распределений Гаусса, в которых вычисляются среднее значение и ковариация с помощью нейронной сети. Предполагается также, что априорная вероятность $p_\theta(z)$ является центрированным изотропным многомерным гауссианом, т. е. $p_\theta(z) = N(z, \mathbf{0}, \mathbf{I})$, не имеющим свободных параметров. На практике

математическое ожидание аппроксимируется выборкой K отсчетов из $z^k \sim q_\phi(z|x)$, а затем вычислением уравнения $E_{q_\phi(z|x)}[\log p_\theta(x|z)] \approx \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \log p_\theta(x|z^k)$. Для получения дифференцируемой сети после дискретизации используется прием репараметризации [13]. Предположим, что $z = N(z; \mu_z, \sigma_z^2 \mathbf{I})$, тогда после перепараметризации имеем $z = \mu_z + \sigma_z \bullet \varepsilon$, где \bullet обозначает поэлементное произведение, а вектор ε выбирается из $N(0; \mathbf{I})$ и рассматривается как дополнительный вход.

Обсуждение

В качестве входных данных мы выбрали набор данных ТИМТ [14]. Корпус прочитанной речи ТИМТ предназначен для предоставления речевых данных для акустико-фонетических исследований, а также для разработки и оценки систем автоматического распознавания речи. ТИМТ содержит широкополосные записи 630 носителей 8 основных диалектов американского английского, каждый из которых читает по 10 фонетически насыщенных предложений. Корпус ТИМТ включает выровненные по времени орфографические, фонетические и словесные транскрипции, а также 16-битный файл формы речевого сигнала 16 кГц для каждого высказывания. Разработка корпуса была результатом совместных усилий Массачусетского технологического института (MIT), SRI International (SRI) и Texas Instruments, Inc. (TI). Речь была записана в TI, расшифрована в Массачусетском технологическом институте, проверена и подготовлена для выпуска компакт-дисков Национальным институтом стандартов и технологий (NIST).

Мы используем вариационный автоэнкодер со свёрточными слоями, которые были реализованы в Keras. Модель состоит из входного слоя, слоев кодера и декодера. Входная форма имеет размерность (256, 64, 1). Чтобы приспособиться к этому, мы изменяем наши аудио- и текстовые данные. В частности, для аудиоданных мы используем двумерные спектрограммы, тогда как для текстовых данных мы используем двумерные вложения слов. Кодер и декодер имеют по пять сверточных слоев каждый. Мы устанавливаем количество эпох равным 150, а размер пакета — 64. На Рисунке 5 показана архитектура VAE с входными и выходными параметрами. В конечном итоге нас интересуют промежуточные векторы между слоями кодера и декодера, т.е. те, которые имеют размерность 128.

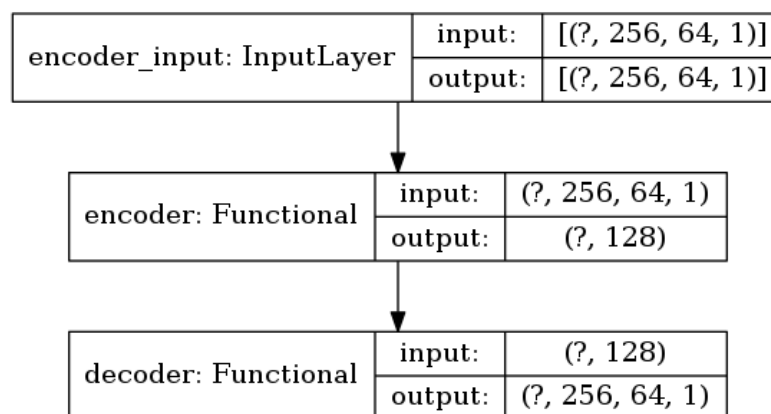


Рисунок 5. Архитектура VAE с входными и выходными параметрами

Чтобы извлечь признаков из аудиоданных, нам нужно выполнить некоторые шаги предварительной обработки. Каждый аудиофайл был разделен на части с использованием временных меток слов, указанных в аннотациях базы данных ТИМТ. Затем мы выполнили заполнение сигналов и из этих сигналов извлекли векторы MFCC (спектрограммы). Для этого мы

использовали librosa [15], библиотеку для предварительной обработки музыки и аудио. В качестве последнего шага мы нормализовали векторы. Все эти шаги были выполнены для каждого из аудиофайлов в наборе данных. Эти векторы использовались для обучения нашей модели VAE и извлечения промежуточных векторов. На Рисунке 6 показаны потери при обучении модели.

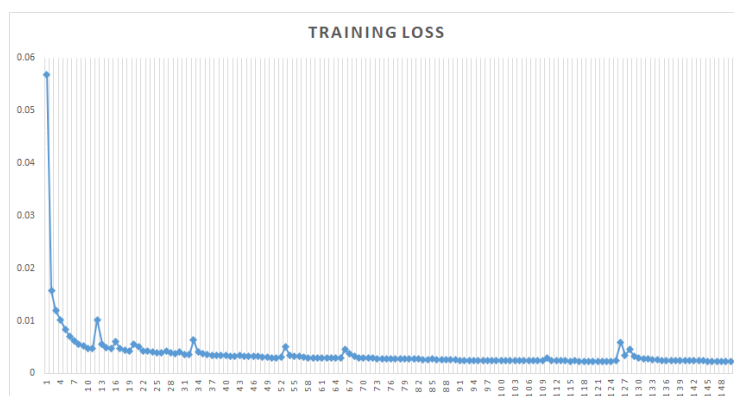


Рисунок 6. Обучение VAE для аудиоданных

Для текстовых данных мы использовали библиотеку Gensim, которая поддерживает реализацию встраивания слов Word2Vec для изучения новых векторов слов из текста. Он также предоставляет инструменты для загрузки предварительно обученных вложений слов в нескольких форматах, а также для использования и запроса загруженных вложений [16]. Как только вложения слов были получены, мы обучили модель VAE и извлекли промежуточные векторы. На Рисунке 7 показаны потери при обучении модели.

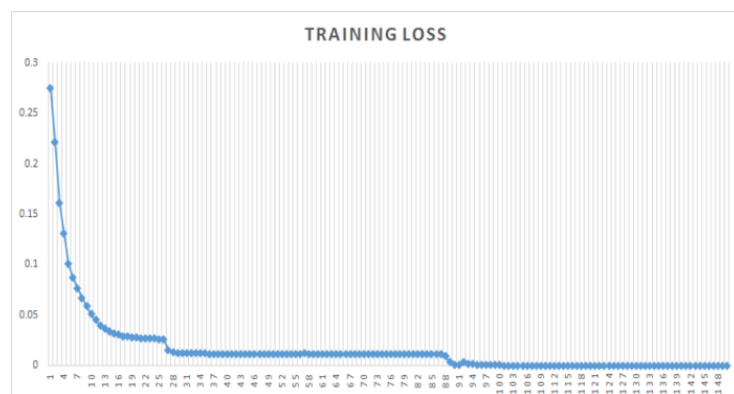


Рисунок 7 – Обучение VAE для текстовых данных

Результаты

Данные для расчета персистентной гомологии могут быть представлены по-разному в зависимости от изучаемой предметной области - взвешенные графики, изображения, облака точек. В нашем случае мы используем третий тип представления аудио- и текстовых данных — облака точек, так как данные уже заранее извлечены в виде набора векторов, соответствующих отдельным словам. Таким образом, у нас есть два 128-мерных набора векторов — для аудио и текстового доменов. Векторы записываются построчно в текстовом файле, а векторные компоненты разделяются запятыми. Здесь мы предполагаем, что векторное пространство снабжено стандартной евклидовой метрикой. В Таблице 1 приведены статистические данные о количестве векторов для обоих типов данных.

Таблица 1. Статистика данных

Тип данных	Количество векторов	Размер вектора
Аудиоданные	54378	128
Текстовые данные	6224	128

Для построения симплициальных комплексов (Виеториса–Рипса) и персистентных гомологий мы использовали пакет Ripser [17], один из лучших среди аналогов по скорости вычислений и написанный на C++. Процесс расчета занимает до 3 часов для аудиоданных и до 1,5 часов для тестовых данных. Причина в том, что объем аудиоданных больше из-за повторения отдельных слов, которые произносятся несколько раз, в то время как в текстовых данных каждое слово встречается только один раз. Наконец, мы построили персистентные диаграммы, показанные на Рисунке 8. Красные точки соответствуют числам Бетти $\beta = 0$, а синие точки – $\beta = 1$.

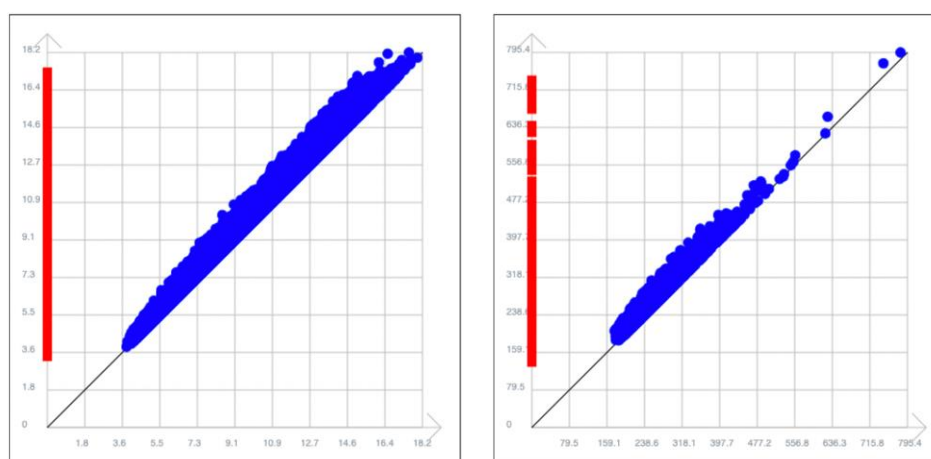


Рисунок 8 – Постоянная диаграмма аудиоданных (слева) и текстовых данных (справа)

Для анализа распределения устойчивых интервалов были построены гистограммы длин интервалов для размерности 1 (Рисунок 9). Гистограммы в обоих случаях аналогичны экспоненциальному распределению, но с другими параметрами.

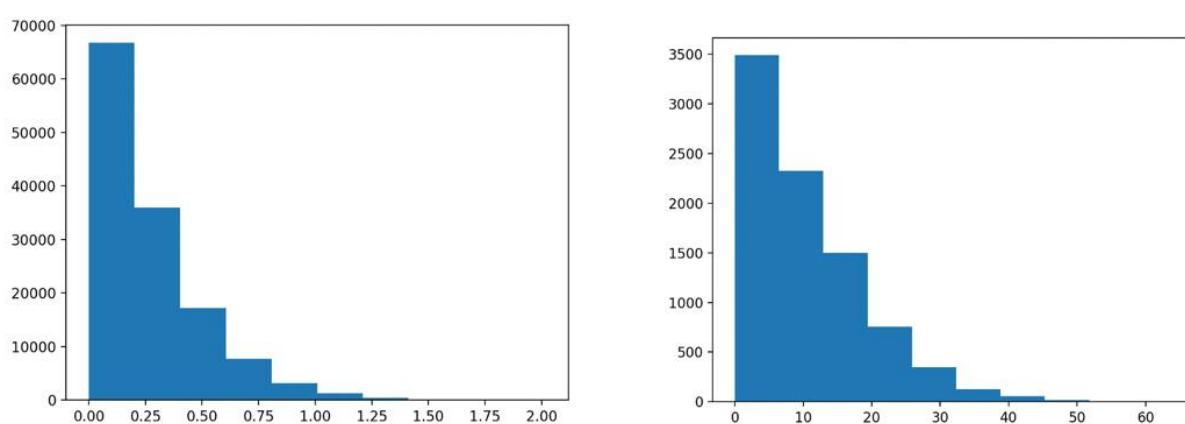


Рисунок 9. Гистограммы постоянных интервалов для размерности 1

Как видно из Рисунка 8, диаграммы аудио- и текстовых данных очень похожи, т.е. имеют схожую топологическую структуру, за исключением того, что синие точки присутствуют в меньшей степени в верхней части графика. Это может быть связано с тем, что звуковые данные для

каждого слова повторяются и, соответственно, образуют больше «отверстий» в пространстве, которые закрываются на более поздних этапах фильтрации (при больших радиусах шара).

Выводы

В данной статье нами представлена предварительная работа по анализу и визуализации аудио- и текстовых данных с использованием методов персистентной гомологии. Как показали результаты, топологическая структура обоих пространств достаточно схожа, что подтверждает гипотезу о сходстве звукового и текстового пространств, а само исследование может быть продолжено. В частности, мы планируем провести количественное сравнение диаграмм персистентности с использованием римановой метрики или метрики Вассерштейна. Кроме того, информацию о топологическом подобии обоих пространств можно использовать непосредственно при обучении вариационных автоэнкодеров и извлечении признаков.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантового финансирования проектов Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (гранты No. AP13068635 и No. AP08053085).

Список литературы

1. Peikert R., Hauser H., Carr H., Fuchs R. Topological Methods in Data Analysis and Visualization II: Theory, Algorithms, and Applications. – Springer Science & Business Media, 2012. – P. 299.
2. Carlsson G. Topology and data // Bulletin of the American Mathematical Society. – 2009. –V. 46, №2. – P. 255-308.
3. Zomorodian A. J. Topology for Computing. – Cambridge University Press, 2005. – P. 240.
4. Ghrist R. Barcodes: The Persistent Topology of Data // Bulletin of the American Mathematical Society. – 2008. –V. 45, №1. – P. 61-75.
5. Edelsbrunner H., Harer J. Computational Topology, An Introduction. – American Mathematical Society, 2010. – P. 242.
6. Kaczynski T., Mischaikow K., Mrozek M. Computational Homology. – Springer, 2004. – P. 482.
7. Carlsson E., Carlsson G., de Silva V. An algebraic topological method for feature identification // International Journal of Computational Geometry and Application. –2006. –V. 16, №4. – P. 291–314.
8. Ferri M., Frosini P., Cerri A., Di Fabio. Computational Topology in Image Context. – Springer, 2012. – P. 156.
9. De Floriani L., Spagnuolo M. Shape Analysis and Structuring. – Springer, 2008. – P. 296.
10. Najman L., Talbot H. Mathematical Morphology: From Theory to Applications. – John Wiley & Sons, Inc., 2010. – P. 507.
11. Edelsbrunner H., Morozov D. Persistent homology: theory and practice // Proceedings of the European Congress of Mathematics. – Krakow, 2012. –P. 31-50.
12. Hsu W., Zhang Y., Glass J. R. Learning latent representations for speech generation and transformation // Proceedings of Interspeech. – Stockholm, Sweden, 2017. –P. 1273-1277.
13. Kingma D. P., Welling M. An introduction to variational autoencoders // Foundations and Trends in Machine Learning. –2019. –V. 12. –P. 307-92.

14. Garofolo J. S., Lamel L. F., Fisher W. M., Fiscus J. G., Pallett D. S. DARPA TIMIT acoustic-phonetic continuous speech corpus // NIST speech disc 1-1.1. NASA STI/Recon technical report. –1993. – V. 93. –P. 27403.
15. McFee B., Raffel C., Liang D., Ellis D. P., McVicar M., Battenberg E., Nieto O. librosa: Audio and music signal analysis in python // Proceedings of the 14th python in science conference. – Austin, Texas, 2015. –V. 8. –P. 18-25.
16. Srinivasa-Desikan B. Natural Language Processing and Computational Linguistics: A practical guide to text analysis with Python, Gensim, spaCy, and Keras / B. Srinivasa-Desikan. – Packt Publishing Ltd, 2018. – P. 286.
17. Bauer U. Ripser: efficient computation of Vietoris–Rips persistence barcodes // Journal of Applied and Computational Topology. –2021. –V. 5, №3. –P. 391-423.

Ж.М. Кожирбаев, Ж.А. Есенбаев
National Laboratory Astana, Astana, Қазақстан

Теңгерілмеген аудио және мәтіндік деректерді топологиялық талдау

Аннотация: Біз бақылаусыз сөйлеуді өңдеу үшін аудио және мәтіндік деректерді топологиялық талдау бойынша алдын ала жұмыс жасадық. Жұмыс фонема жиіліктері мен контекстік қатынастар бір тілдің акустикалық және мәтіндік салаларында ұқсас болады деген болжамға негізделген. Тиісінше, бұл олардың геометриялық құрылымын ескере отырып, осы кеңістіктер арасында кескін құруға мүмкіндік береді. Бірінші қадам ретінде аудио және мәтіндік деректерді екі жасырын векторлық кеңістікте салыстыру үшін вариациялық автокодерлерге негізделген генеративті әдістер таңдалды. Келесі кезеңде екі кеңістіктің топологиялық құрылымын талдау үшін тұрақты гомологиялық әдістер қолданылады. Алынған нәтижелер екі кеңістіктің ұқсастығы туралы идеяны қолдаса да, акустикалық және мәтіндік кеңістіктерді дұрыс кескінге түсіру үшін, сонымен қатар топологиялық ақпаратты автокодерлерді оқыту процесіне қосудың нақты әсерін бағалау үшін қосымша зерттеулер қажет.

Түйін сөздер: бақыланбайтын сөйлеуді өңдеу, вариациялық автокодерлер, сөздерді енгізу, топологиялық деректерді талдау, тұрақты гомология және диаграммалар.

Zh.M. Kozhirbayev, Zh.A. Yessenbayev
National Laboratory Astana, Astana, Kazakhstan

Topological analysis of unaligned audio and text data

Abstract: We have performed preliminary work on topological analysis of audio and text data for unsupervised speech processing. The work assumes that phoneme frequencies and contextual relationships are similar in the acoustic and text domains for the same language. Accordingly, this allowed the creation of a mapping between these spaces that considers their geometric structure. As a first step, generative methods based on variational autoencoders were chosen to map audio and text data into two latent vector spaces. In the next stage, persistent homology methods are used to analyze the topological structure of two spaces. Although the results obtained support the idea of the similarity of the two spaces, further research is needed to correctly map acoustic and text spaces, as well as to evaluate the real effect of including topological information in the autoencoder training process.

Keywords: unsupervised speech processing, variational autoencoders, word embeddings, topological data analysis, persistent homology and diagrams.

References

1. Peikert R., Hauser H., Carr H., Fuchs R. Topological Methods in Data Analysis and Visualization II: Theory, Algorithms, and Applications (Springer Science & Business Media, 2012, 299 p.)
2. Carlsson G. Topology and data [Bulletin of the American Mathematical Society]. 2009. Vol. 46. №2. P. 255-308.
3. Zomorodian A.J. Topology for Computing (Cambridge University Press, 2005, 240 p.).
4. Ghrist R. Barcodes: The Persistent Topology of Data [Bulletin of the American Mathematical Society]. 2008. Vol. 45. №1. P. 61-75.
5. Edelsbrunner H., Harer J. Computational Topology, An Introduction (American Mathematical Society, 2010, 242 p.)
6. Kaczynski T., Mischaikow K., Mrozek M. Computational Homology (Springer, 2004, 482 p.)
7. Carlsson E., Carlsson G., de Silva V. An algebraic topological method for feature identification [International Journal of Computational Geometry and Application]. 2006. Vol. 16. №4. P. 291-314.
8. Ferri M., Frosini P., Cerri A., Di Fabio. Computational Topology in Image Context (Springer, 2012, 156 p.)
9. De Floriani L., Spagnuolo M. Shape Analysis and Structuring (Springer, 2008, 296 p.)
10. Najman L., Talbot H. Mathematical Morphology: From Theory to Applications (John Wiley & Sons, Inc., 2010, 507 p.)
11. Edelsbrunner H., Morozov D. Persistent homology: theory and practice [Proceedings of the European Congress of Mathematics], Krakow, Poland, 2012. P. 31-50.
12. Hsu W., Zhang Y., Glass J.R. Learning latent representations for speech generation and transformation [Proceedings of Interspeech], Stockholm, Sweden, 2017. P. 1273-1277.
13. Kingma D.P., Welling M. An introduction to variational autoencoders [Foundations and Trends in Machine Learning]. 2019. Vol. 12. P. 307-92.
14. Garofolo J.S., Lamel L.F., Fisher W.M., Fiscus J.G., Pallett D.S. DARPA TIMIT acoustic-phonetic continuous speech corpus [NIST speech disc 1-1.1. NASA STI/Recon technical report]. 1993. Vol. 93. P. 27403.
15. McFee B., Raffel C., Liang D., Ellis D.P., McVicar M., Battenberg E., Nieto O. librosa: Audio and music signal analysis in python [Proceedings of the 14th python in science conference], Austin, Texas, 2015. Vol. 8. P. 18-25.
16. Srinivasa-Desikan B. Natural Language Processing and Computational Linguistics: A practical guide to text analysis with Python, Gensim, spaCy, and Keras (B. Srinivasa-Desikan. – Packt Publishing Ltd, 2018, 286 p.)
17. Bauer U. Ripser: efficient computation of Vietoris – Rips persistence barcodes [Journal of Applied and Computational Topology]. 2021. Vol. 5. №3. P. 391-423.

Сведения об авторах

Кожирбаев Ж.М. – Ph.D., старший научный сотрудник, National Laboratory Astana, пр. Кабанбай батыра, 53, Астана, Казахстан.

Есенбаев Ж.А. – Ph.D., старший научный сотрудник, National Laboratory Astana, пр. Кабанбай батыра, 53, Астана, Казахстан.

Kozhirbayev Zh. M. – Ph.D., Senior Researcher, National Laboratory Astana, 53 Kabanbay batyr ave., Astana, Kazakhstan.

Yessenbayev Zh. A. – Ph.D., Senior Researcher, National Laboratory Astana, 53 Kabanbay batyr ave., Astana, Kazakhstan.

M. Kulisz¹, J.D. Zhumabekova², E.B. Firsova², Z.A. Aubakirova^{2*},
G.A. Zhairbaeva²

¹Lublin University of Technology, Poland

²D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

(E-mail: aubakirova.zulfiya@mail.ru)

Implementation of the quality management system in the enterprise producing bentonite clay

Abstract. In the developed countries of the world, the problem of quality improvement occupies a leading place in ensuring the competitiveness of products and services, building new relationships between consumers and producers, and meeting material needs, social interests, and spiritual demands, especially in production and industrial engineering. With the entry of Kazakhstan enterprises into international markets and the opening of the Kazakh market for the goods of foreign firms, the problem of product quality has become a priority for domestic producers. Currently, there are problems in the implementation of the quality management system in Kazakhstan. Accordingly, the article discusses the problems of implementing a quality management system in the example of a company producing bentonite clay in Kazakhstan. The methods of observation, analysis, and synthesis, as well as the technique of interview with the head of the quality group, were used for the research. As a result of the research, the management system introduced in this enterprise was discussed, and the problems observed during the system implementation were presented, as well as recommendations for the company.

Keywords: certification, quality management system, integration, standard, clay.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-127-139

Introduction

Currently, there is a focus on meeting the needs of consumers. At the same time, the requirements for products and services are becoming more stringent every year. It means that manufacturers are increasingly thinking about careful quality control. The need for quality control at every stage of production is currently a generally accepted position, which shows that all employees of the enterprise are responsible for the quality of products and services. To continuously improve and increase the competitiveness of goods and services in the domestic and global markets, companies are implementing quality management systems (QMS).

When certifying management systems, any company faces several main problems that need to be solved based on the internal conditions of the company's functioning: the direction of activity, staffing, and financial resources of the company while considering the constantly changing external conditions: legal norms of the company's country of origin, tax conditions, competition in the market, etc. For the successful implementation of the management system, it is necessary to formulate the main problems of QMS implementation and propose ways to solve them, which is described in this article on the example of an operating enterprise producing bentonite clay in Kazakhstan.

Various explanations of the concept of QMS can be found in modern literature. The International Organization for Standardization defines a QMS as part of a quality-oriented management system that aims to formulate policies and objectives, as well as processes to achieve these goals [1]. For the successful operation of any enterprise, it is necessary to form and maintain an effective management system, an

integral part of which is quality management. The basis for the formation of a quality management system can be the international standards of the ISO 9000, ISO 14000, ISO 22000 series for products, ISO 17000 series standards for services, etc. as well as national and interstate standards developed on their basis.

A QMS is a part of an organization's management system that addresses the needs, expectations, and requirements of stakeholders to achieve results consistent with quality objectives. Quality goals complement the organization's other goals related to development, financing, profitability, environment, occupational health, and safety. This can make it easier to plan, allocate resources, define additional goals, and evaluate the overall performance of the organization [2]. Creating a quality management system requires a strategic decision of the organization. The creation of a quality system is understood as its development and implementation in the enterprise's activities. Creating an effective quality system takes several years and requires the involvement of all the company's personnel in quality management activities.

In Kazakhstan, the implementation of quality management systems is stimulated, including at the state level. Thus, the presence of a certified QMS is an essential condition for participation in the annual Kazakhstan competition for the national award "Altyn Sapa" [3]. Following the requirements of the market, more and more enterprises are certifying their management systems, but not all of them are effective. There are several reasons for this. In the modern scientific literature, the problem of creating and improving quality management systems at various enterprises is reflected in the works of both Kazakhstani and foreign scientists – Karzhaubaeva K.E. [4], Efimova V.V., Samsonova M.V. [5], Leonova O.A., Temasova G.N., Vergazova Yu.G. [6] and others. Some studies describe common problems in implementing all management systems. For example, in the works of Russian researchers, it is assumed that the main reasons for inefficient functioning in the implementation of QMS in Russia are a formal approach to implementation, insufficient awareness of the importance of QMS implementation, as well as insufficient qualification of personnel [7]. Other researchers call the main problems in implementing the QMS the following: tight deadlines set by management, ignorance of the specifics of international standards, insufficient motivation of staff, financial constraints, and a large amount of documentation developed [8].

Several studies are devoted to the development of ways to solve any implementation problem, for example, the psychological resistance of personnel when implementing a specific quality system [9], and the problem of implementing QMS in industrial enterprises and organizations of various fields of activity [10].

At the same time, the research focus of most studies on certain issues of quality management determines the lack of scientific discussions on the development of theories, methods, and practical tools of quality management systems. Currently, the actual implementation of the management system functioning process has not been resolved, which leaves some problems associated with the development of agreed concepts, methods, and tools. In addition, the scientific literature describes a number of other significant problems that we have to face when implementing QMS in practice [11]: wrong choice of consulting company, offering its own QMS development services; a formal approach to project implementation (the system functions only on paper); development of QMS documentation only by means of a specially created quality service at the enterprise, without the participation of other departments and managers; incorrect organization of the staff training process.

Implementation of various areas of management systems in Kazakhstan will contribute to the further dynamic and qualitative development of Kazakhstani organizations and enterprises that produce products and provide services, including consulting in the field of development and implementation of management systems, the creation of a national system for training expert auditors in the field of management systems that meets international standards and allows Kazakhstan to integrate. It will contribute to solving the strategic task of making Kazakhstan one of the fifty most successful countries in the world. Competitive countries in the world [12].

For successful implementation and functioning of the QMS at a particular enterprise, it is necessary to first consider the structure of the enterprise's activities, identify the main tasks and potential problems, and suggest certain solutions described in the relevant literature, adapted to the analyzed enterprise what was done in this article.

Material and methods

Characteristics of the research object

The object of research is an enterprise engaged in the extraction of bentonite clay, as well as the sale of products based on it. The company's raw material base is a high-quality bentonite clay deposit-Taganskoye, located in Eastern Kazakhstan [13]. The bentonite clay mining enterprise is the first enterprise of the Bentonite Group of Companies operating in the pharmaceutical market of Russia and the CIS countries. The Taganskoye field has the widest range of reserves of high-quality alkaline, alkaline earth, and pharmaceutical bentonites. Based on the results of a detailed exploration of the deposit, it was revealed that it is represented by three industrial bentonite horizons of different compositions, with approved total reserves of over 9 million tons. Bentonite clays of the Tagansky deposit are among the highest quality not only in Kazakhstan but also abroad. Due to the properties of montmorillonite, the main rock-forming mineral, bentonite of this deposit has a wide range of applications in traditional industries and agriculture. There is also an opportunity to expand the product range and start the production of innovative products: as a component to produce oil-cracking catalysts and for pharmaceutical production.

The latest technological developments and extensive research in the field of bentonite applications of the Taganskoye deposit have created conditions for the company's continuous development and expansion in the commodity market, and it has established strong relationships with large consumer companies in Russia, the CIS countries and Europe. In the next two years, it is planned to build a full-cycle plant based on the Taganskoye field, which will include a production line for processing bentonite clay: iron ore pellets and pellet concentrates; adhesives used in the oil and gas industry, drilling, and hard disk drives; expansion used in the preparation of molding mixtures in the foundry industry; viscous agent for the treatment of radioactive waste in the nuclear industry; organoleptic for environmental purposes; raw materials for catalysts such as oil cracking.

High precision of the production process is ensured using modern equipment and professional staff. At the same time, the company is constantly improving technologies, materials, and working methods. The quality of bentonite clay is evaluated in the laboratory based on the following indicators: compressive strength in wet conditions; tensile strength in the zone of condensation of moisture; heat resistance; moisture content and granulometric composition (for powdery). In addition, at the stage of geological exploration of new deposits and the actual period of exploration of existing deposits, it conducts clay quality control based on the following indicators: montmorillonite content; amount and composition of exchange cations; carbonate content in SASOZ; mass fraction of sulfur sulfide; iron content in Fe₂O₃; clay particle content; colloids; water absorption rate. The enterprise interacts with the external environment: suppliers of energy and material resources, state, tax, statistical authorities, and firms that provide practical assistance in organizing accounting and control at the enterprise. The highest body of the partnership is the founder. The executive and administrative body of the partnership is the director appointed by the founder. The manufactured products are of high quality and are in great demand on the market, and to establish favorable relations with consumers of products, there is required continuous improvement of the quality system.

Analysis of the present quality management system in the enterprise

The methods of observation, analysis, and synthesis as well as the interview technique were used for the research. The observation was made in September 2022 and the head of the quality group in the

Quality Control Department was interviewed on 20 September 2022. The head of the quality group was allowed to get acquainted with the QMS documents. During the interview, the following questions were asked in the field of the functioning of the quality system:

- how is the QMS functioning assessed?
- how often is the internal audit of the QMS conducted?
- are there constantly recurring problems in the work of the enterprise?
- are the deadlines for the approval of corrective and preventive action plans regulated?

The company that extracts bentonite clay mining company has implemented a quality management system (hereinafter – QMS), ISO 9001:2016 standard. Currently, within the framework of quality management, the company has developed and approved system documents in accordance with international standards: Company Policy, Management Guidelines, Environmental Management System Guidelines, Occupational Safety and Health Management System Guidelines, Documentation Management Rules, Internal Audit Rules, etc. The company's quality management policy provides for the achievement of the following objectives:

- Significantly improve the quality of products to ensure effective competition and develop new markets that the company previously could not enter;
- Fully meet the expectations and requirements of consumers in terms of quality, safety, availability, and product range;
- Systematically reduce non-production costs and increase the profitability of work based on the introduction of technological methods and the formation of economic levers for managing the internal processes of the enterprise;
- Create sources of investment for the development and implementation of new investments in accordance with market demand.

The purpose of creating an environmental management system in an enterprise is to maintain and improve the Company's environmental safety management system, confirm the Company's compliance with the declared environmental policy and requirements of international standards in the field of environmental safety management, and certify the integrated management system by international certification bodies [13]. The company's occupational safety and health policy is based on the state policy in the field of occupational safety and health, established by Article 306 of the Labor Code of the Republic of Kazakhstan, considering the specifics of production activities and includes the main policy directions, main goals, and objectives, participation of interested parties in occupational safety and health management. The purpose of the occupational safety and health management system is to continuously improve the working conditions of the company's employees and ensure the safety of the lives of people who find themselves in the Company's area of activity.

The current QMS of the company corresponds to the approved Quality Policy, which defines the main strategic goals and obligations of the LLP management in the field of improving the quality of extractive products; improving working conditions and ensuring the safety and health of personnel; ensuring the availability of information about the LLP's activities; meeting the needs of all stakeholders. The bentonite clay mining company is preparing for certification of compliance of the quality management system with the requirements of GOST ISO 9001-2015 in relation to the production and sale of bentonite clay and clay powders. The quality of products is controlled by a factory laboratory certified by the standard. Production technologies of the main products are protected by patents of the Republic of Kazakhstan. In June 2022, the external inspection audit of QMS business processes was successfully completed/SUIS for compliance with the requirements of MS ISO 9001 (QMS) and ISO 20000 (SUIS). New international certificates on business processes of activity were obtained. The company during its activities is guided by RK-0-001, which is an internal regulatory document of the company and describes the integrated management system in the company. RK-0-001 "ISU. Quality Manual" is developed in accordance with the requirements of the international standards ISO 9001, ISO/IEC 20000, and ISO/IEC 27001.

Enterprise activity is managed based on DP-0-005 “Business Process Management”, a standard that distributes responsibility and regulates the rules for interaction between structural divisions. The process approach used in the enterprise involves defining and describing all the processes necessary to achieve strategic goals, as well as establishing relationships between processes and their subsequent management, including continuous improvement using the PDCA methodology. The main purpose of applying the process approach to management in an enterprise is to: ensure the achievement of the company’s goals, through a clear definition of the goals of each process, prioritization, and rational use of available resources; ensuring that all employees are focused on achieving the company’s goals; regulation of the system of interrelations within processes; ensuring the proper quality of the result obtained within the framework of the activity performed by performing all necessary operations in the process; analysis and monitoring of process execution based on performance indicators; ensuring transparency of ongoing processes at the enterprise in order to obtain objective information about the effectiveness of the activities carried out.

The process requirements are shown In Table 1.

Table 1 - Process requirements for a bentonite clay mining company

Requirement	Characteristic
Purposefulness	Each process has its own goal (result), which is the main criterion for the effectiveness of the process and is directly related to the goals of the enterprise. Meeting the goals of all processes leads to the fulfillment of the enterprise’s goals
Creating value	Each process contributes to the enterprise’s value stream
Standardization	Documentation of processes, to establish uniform rules and standards for the implementation of the enterprise
Consistency	Perception of all processes as a single system, solving local problems does not change the system, changes are made considering the entire set as a whole
Continuous improvement	Reducing deadlines, improving quality, reducing losses
N o t e : Developed based on DP-0-005 “Business process management”	

Business process management is aimed at continuous improvement to guarantee the achievement of the strategic goals of the enterprise and is carried out according to the PDCA Dumping cycle [6]. After performing the “adjustment”, the cycle starts again with “planning”. The planning process is continuous, cyclical, and continuous to ensure that product requirements are met. The director of the enterprise is responsible for planning processes to ensure the product lifecycle. Communication with consumers includes providing information about products; processing requests, and contracts, including their changes; receiving feedback about products from consumers, including consumer complaints. The necessary requirements for the extracted products are defined in legislative and regulatory legal acts, and in internal regulatory documents and are mandatory for application. Before making a commitment to sell products to consumers, the company conducts an analysis of potential opportunities to consider requirements set by the user; requirements that are not stated by the consumer but are necessary for a specific or intended use by the consumer; requirements of contracts with consumers. Based on the decisions made, adjustments are made to the relevant documentation.

Results and Discussion

The company’s quality management system has been implemented since its inception and currently, the current system applies to all departments and workshops. During its existence, the system

has repeatedly expanded its scope and continues to be constantly improved. The general intentions and direction of quality activities are formally formulated in the Quality Policy, Business Process Management. The functioning of the quality management system is evaluated through annual external and internal audits, which help to improve the effectiveness of production activities. Based on the results of the report, a plan of corrective and preventive measures was developed. Table 2 shows the problems in the management of enterprises, the solution of which is possible during the enterprise's activities.

Table 2. Enterprise management problems and ways for solving

Identified problems	Proposed recommendation
1	2
The most repetitive business processes are not always documented.	Once a month, conduct introductory (QMS changes) and explanatory training
Not approved in the job descriptions of department heads and leading specialists on product promotion issues.	It is necessary to regulate the terms of approval of the commercial offer, review the terms of approval of the calculation, review the scope of work, transfer the cost of work to a subscription fee, and move away from man-hours.
Refusal to train or improve the skills of employees with the wording-lack of the necessary budget.	Introduce a mentoring system at the enterprise
When operating data transmission networks, processes are not documented; measurement devices are not checked on time; additional payments are not made to employees for emergency recovery work outside working hours.	To constantly improve the skills of personnel in accordance with the requirements of an approved annual training plan; motivate employees.
Lack of methods and technologies that allow to objectively assess the opportunities and prospects of employees of the enterprise	Train managers to conduct interviews. Improve the induction procedure. When selecting personnel, user testing, because testing is also a source of information that can provide information about the candidate's personal characteristics, professional abilities, and abilities
The mechanism of material incentives for personnel does not work, which allows attracting competitive employees to the management system	Introducing a bonus system for developing mechanisms to reduce the cost of production, standards, and norms for spending economic resources
Note: Developed on the basis of FC-DP-0-003-004 " Report on internal audit in the enterprise [14]	

From the data presented in Table 2, it follows that the company does not always document the most repetitive business processes, the reason for this is a misunderstanding of the need for this documentation by the director and employees of the enterprise, and this documentation has been introduced only since the end of 2020. The results of the analysis showed that the processes of the enterprise's management system function with certain shortcomings, that is, the processes are managed, but not at the proper level, and corrective actions are required to eliminate the identified inconsistencies. In this regard, it is necessary: to approve the annual training plan of the company's employees and monitor its implementation, to coordinate and approve plans of corrective and preventive actions in a timely manner and monitor their execution, to strictly regulate the deadlines for the execution of external and internal correspondence, to provide a system of material and moral incentives in order to improve

the efficiency of staff, to improve the internal and external risk management system in order to eliminate the possibility of manufacturing defects, as well as potential damage to the consumer.

The main disadvantage of the existing enterprise management system is that it has a negative impact on quality assurance issues and, consequently, has a negative impact on the results of work:

- Imperfect management decision-making mechanism. In many cases, the decision-making process is very bureaucratic. Business and technical processes are not fully formalized, which leads to inconsistent and mutually exclusive decision-making. There is no consistency between strategy, business planning, and management.
- Different divisions of the company do not have clear boundaries of authority and responsibility in interaction in the performance of their functions. The system of decentralization of responsibility and monitoring of the effectiveness of implemented management decisions and processes is not sufficiently developed, which has led to an excessive centralization of management.
- There is no single method for diagnosing the quality state of the enterprise and formal system of product quality indicators. Criteria for evaluating the quality and effectiveness of products in terms of financial results are not defined.
- The use of outdated and unqualified technical means and technical equipment regulations does not contribute to the effective implementation of technical processes and does not ensure their flexible optimization to improve the quality and efficiency of resource use.
- The company does not have a system for managing external and internal risks. This system does not allow for continuous improvement of the enterprise's operations based on an early assessment of the possibility of adverse changes and potential damage, as well as providing appropriate countermeasures and protective measures.
- Inefficient management of information flows and use of information. The collection and analysis of management information and internal statistical reports have not been fully optimized, and there is no unified system for measuring, collecting, and analyzing information about the quality of products and processes, which does not allow for timely and objective assessment of the company's activities, as well as effective management of resources and processes.
- Imperfection and non-transparency of the existing employee incentive system. The current incentive system does not allow for achieving the required level of employee interest in the quality of an internal or final product. There is no correlation between the quality level and motivation. This is based on a system of metrics that provides each employee with the motivation to perform high-quality work.

Thus, the stable and effective functioning of the quality management system should consist of strict compliance with the procedures described above, as well as the use of standards and other practices in the field of product quality. In addition, the analysis of the quality management system and the conclusions drawn from the results of the study revealed several shortcomings, as well as insufficient attention to some issues the existing methods of forming the remuneration fund at the enterprise are outdated and require revision.

To solve this number of problems, it is necessary to adopt a systematic approach to optimizing management tools and activities of the enterprise based on the development and implementation of an integrated quality management system. The integrated management system will allow the bentonite clay mining company to: Implementation of a comprehensive enterprise development plan, considering the requirements of stakeholders: investors, consumers, employees, society, etc.; By adopting a common policy, goals, and objectives, create conditions for reducing conflicts between different management systems of the organization. By reducing the cost of developing, operating, and certifying an ISM compared to the total cost of multiple autonomous control systems, resource efficiency is improved; Reduce management risks due to the fact that a single system provides accounting for the consequences of any action and the risks associated with it; Increase the satisfaction of potential customers, suppliers,

investors, and other stakeholders; Improve the company's business image; Understand the role of each employee in achieving common goals, increasing employee enthusiasm and creating conditions for the formation of a unified corporate culture; Reduce audit costs by reducing the number of required audits; Reduce labor costs for the transition to the new version of the occupational health and safety management system standards. Thus, an integrated quality management system is a set of organizational structures, procedures, and processes necessary to implement overall quality management. The methods proposed for implementation by organizations and the expected results of QMS implementation in a bentonite clay mining company are presented in Table 3.

Table 3. Expected results of integrated quality management system implementation in a bentonite clay mining company

Key element	The proposed methods that can be implemented by the organization	Expected results
1	2	3
What is management focused on? What is the management approach? (Manual)	Conceptual organizational model; algorithm of element-by-element integration of strategic management and quality management and integrated model; system of principles and tools for effective implementation; functional and structural implementation model; implementation mechanism; matrix of integration of quality management into the strategic management system.	Solutions are based on the deployment of the strategy, the need for flexibility, agility, and stability of operations, considering the needs of all stakeholders. An active approach aimed at training and empowering employees at all levels.
How are decisions made? (Strategy and Policy)	Strategy development: mini-foresight session-development scenarios, strategic map, MTSP, matrix of integration of quality management into the strategic management system in the aspect of an adapted MTSP system and quality management methods.	Strategy is developed based on actual data obtained as a result of a comprehensive analysis using the tools of QMS and MC.
How the organization responds to external and internal risks Wednesday? (Organization's environment)	Dynamic instrumental and methodological model of QMS; integrated model of balanced analysis of the enterprise context; PEST+E-analysis, assessment of the degree and time of occurrence of environmental factors, rating of strategic priority of the influence of factors; matrix of assessment of stakeholders' interests and its effectiveness. visualization, SWOT-analysis, interest assessment matrices of opportunities and threats; final matrix "Organization context"; the mechanism for identifying key business processes of the organization; Y-matrix for identifying key processes of the enterprise.	The organization continuously analyzes the environment, as well as assesses and plans risks reducing, eliminating or benefitting from opportunities.
Does the organization relate to the needs of stakeholders? (Stakeholders, their needs and	Matrix for assessing stakeholders' interests and its visualization, SWOT analysis, matrix for assessing the interests of opportunities and threats; final matrix "Organization context".	Stakeholders' needs and expectations serve as the basis for top management decision-making and are fully.

expectations)		
How are the resources needed to achieve results identified? (Resources)	Translation of targets to different levels of the hierarchy, X-matrix, cascade of X-matrices, catch ball matching ball method; Y-matrix for establishing a link between significant factors, goals, and breakthrough events; model of organizational processes that include subsystems of strategic management and quality management; decomposition of a balanced system of strategic indicators of the enterprise.	Resources are planned, effectively structured and meet the requirements of stakeholders.
How are activities organized? (Processes)	System of principles and tools for effective implementation; functional and structural model of implementation; implementation mechanism matrix of integration of quality management into the strategic management system in the aspect of an adapted quality management system and methods.	There is a QMS that is effective and efficient, promotes strong links between processes and ensures maneuverability and improvement, promotes innovation.
How is the learning process organized? (Training, knowledge)	Information collection, storage, processing and use system - information database and strategic landscape of the enterprise.	Learning processes developed by the organization are used together with relevant stakeholders and contribute to a creative and innovative approach.
How are results achieved? How is the results monitored? (Monitoring and measurement)	Methodological approach to monitoring: algorithm for internal strategic verification; system and criteria for evaluating strategic performance; strategic performance rating; rank correlation of the level of strategic performance; translation of targets to different levels of the hierarchy, X-matrix, cascade of X-matrices, <i>catch ball matching method</i> ; Y-matrix for establishing the relationship between significant factors, goals and breakthrough events; model of organizational processes that include subsystems of quality management and strategic management; decomposition of a balanced system of strategic indicators of the enterprise.	The results achieved are higher than the industry average and are maintained at this level for a long time. Improvements and innovations are being implemented at all levels of the organization. Key performance indicators are included in the monitoring of all processes in real time, and performance indicators are quickly communicated to all stakeholders.
How is the priority of improvement measures determined? (Improvements, innovations)	All developments.	The priority of improvement measures depends on information received from new stakeholders, as well as an analysis of the organization's context.
Note-source: Developed on the basis on [15]		

Conclusion

In the theory and practice of quality management, there are identified two problems such as product quality and quality management. Quality assurance requires considerable costs. Until recently, the main share of quality costs was accounted for by physical labor. But today the share of intellectual labor is high. The quality problem cannot be solved without the participation of scientists, engineers, and managers. There should be a harmony of all components of professional influence on quality. If you do not pay serious attention to quality, significant funds will be required to correct defects. A much greater effect will be achieved by developing long-term programs to prevent defects. Such a solution is the introduction of quality management systems. However, problems may arise during and after the implementation of quality management systems, including as presented in this article. Therefore, it is important to implement corrective or remedial actions in these systems.

As a result of the research on the analysis of the quality system in a company producing bentonite clay in Kazakhstan, there were identified several main problems, and the following recommendations were proposed to solve:

- adopt a systematic approach to optimizing the management tools and activities of the enterprise based on the development and implementation of an integrated quality management system,
- conduct continuous training and professional development of the company's employees and management personnel to understand the importance of documenting business processes,
- conduct systematic training for employees, including changes in the quality system, and monitor their implementation;
- timely coordinate and approve corrective and preventive action plans;
- change procedures for external and internal correspondence;
- improve the internal and external risk management system in order to eliminate the possibility of manufacturing defects, as well as potential damage to the consumer.

The above recommendations will improve the efficiency of the enterprise, will promote strong links between processes within the enterprise, and an innovative approach aimed at meeting the needs of all stakeholders.

The implementation of quality management systems in enterprises in Kazakhstan, and their further improvement, will contribute to the further dynamic and qualitative development of Kazakh organizations and enterprises producing products and providing services. It will contribute to making Kazakhstan one of the most competitive countries in the world.

References

1. ISO 9000:2015 Quality management systems — Fundamentals and vocabulary - Quality Management Systems-Basic provisions and dictionary.
2. K.A. Tazabekov, Fundamentals of standardization, metrology, certification and quality management. Almaty: Kazakhstan Marketing Association, 2003. – 410 p.
3. Pisarenko K.E, Sharafiev R.G, and Kvitko V.Zh, Reasons for difficulties in implementing quality management systems and how to solve them // quality management - 2020. - part 8.
4. Karzhaubaev K.E., Standardization, certification and management systems. Almaty: Nur-Print, 2015. — 344 p.
5. Efimov V.V and Samsonova M.V., Fundamentals of quality assurance. - M: Ulyanovsk, 2008. – 103-104 p.
6. Leonov O.A, Temasova G.N, and Vergazova Yu.G., Quality management. St. Petersburg: Lan, 2019. - 408p.
7. Matin V.I. Problems of implementation of quality management systems in the Russian Federation // Journal of quality management systems - 2019. - Volume 9. - No. 3. - p. 493-498.

8. Semashina Yu., Kurushina A. Problems and stages of QMS implementation at the enterprise // The role of technical regulation and standardization in the digital economy era: abstracts: II International Scientific and Practical Conference of Young Scientists. – Yekaterinburg, Russia, 2020. – pp. 172-176.
9. Vishtel Yu.G. Overcoming psychological resistance in the implementation of a quality management system // Quality - strategy of the XXI century materials of the XV International Scientific and Practical Conference, 2010, Tomsk, Russia, 2010. - pp. 97-100. -
10. Igolnik, O.V. Introduction of quality management systems in industrial enterprises and educational organizations // Technical regulation in the Single Economic Space : collection of articles of the V All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation. - Yekaterinburg, Russia, -2018. - pp. 69-73.
11. Kostyuk G.S. Problems in the implementation of the quality management system of QMS at the enterprise and ways to solve them // Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk. Scientific Journal – 2019. – pp. 235-240.
12. Kasenov K.R., Baisengirova A.J. Development of management systems in Kazakhstan // Bulletin of KazNPU. – 2017. – pp. 53-59. URL <https://articlekz.com/article/18798>.
13. Official website'. <http://tagbent.com/ru/o-kompanii/istoriya>
14. Corrective action plan based on the results of the annual expert assessment of the QMS for compliance with the requirements of the international standard ISO 9001: 2016.
15. Kokins G. Performance Management. How to bridge the gap between the announced strategy and real processes. - M.: Alpina, 2017. - 315 p.

М. Кулиш¹, Ж.Д. Жұмабекова², Е.Б. Фирсов², З.А. Аубакирова², Г.А. Жаирбаева²

¹Люблин технологиялық университеті, Люблин, Польша

²Д. Серікбаева атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

Бентонит сазын өндіретін кәсіпорында сапа менеджменті жүйесін енгізу

Аңдатпа. Әлемнің дамыған елдерінде сапаны арттыру проблемасы өнімдер мен қызметтердің бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз етуде, тұтынушылар мен өндірушілер арасында жаңа қатынастар құруда, материалдық қажеттіліктерді, әлеуметтік мүдделер мен рухани сұраныстарды қанағаттандыруда, әсіресе өндіріс пен өнеркәсіптік машина жасау саласында жетекші орын алады. Қазақстандық кәсіпорындардың халықаралық нарықтарға шығуымен және шетелдік фирмалардың тауарлары үшін қазақстандық нарықтың ашылуымен отандық өндіруші үшін өнім сапасы мәселесі басымдыққа ие болды. Қазіргі уақытта Қазақстанда сапа менеджменті жүйесін енгізуде проблемалар бар. Тиісінше, мақалада Қазақстанда бентонит сазын өндіретін кәсіпорын мысалында сапа менеджменті жүйесін енгізу мәселелері қарастырылады. Зерттеу үшін бақылау, талдау және синтез әдістері, сондай-ақ сапа тобының жетекшісімен сұхбат әдісі қолданылды. Зерттеу нәтижесінде осы кәсіпорында енгізілген менеджмент жүйесі қарастырылды, жүйені енгізу кезінде байқалған мәселелер, сондай-ақ компания үшін ұсыныстар ұсынылды.

Түйін сөздер: сертификаттау, сапа менеджменті жүйесі, сапа менеджменті, интеграциясы, стандарт, саз.

М. Кулиш¹, Ж.Д. Жұмабекова², Е.Б. Фирсова², З.А. Аубакирова², Г.А. Жаирбаева²

¹Люблинский технологический университет, Люблин, Польша

²Восточно – Казахстанский технический университет им.Д.Серикбаева

Внедрение системы менеджмента качества на предприятии по производству

БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ

Аннотация. В развитых странах мира проблема повышения качества занимает ведущее место в обеспечении конкурентоспособности продукции и услуг, построении новых отношений между потребителями и производителями, удовлетворении материальных потребностей, социальных интересов и духовных запросов, особенно в сфере производства и промышленного машиностроения. С выходом казахстанских предприятий на международные рынки и открытием казахстанского рынка для товаров иностранных фирм проблема качества продукции стала приоритетной для отечественного производителя. В настоящее время существуют проблемы во внедрении системы менеджмента качества в Казахстане. В статье рассматриваются проблемы внедрения системы менеджмента качества на примере предприятия по производству бентонитовой глины в Казахстане. Для исследования использовались методы наблюдения, анализа и синтеза, а также метод интервью с руководителем группы качества. В результате исследования была рассмотрена система менеджмента, внедренная на данном предприятии, представлены проблемы, наблюдаемые при внедрении системы, и рекомендации для компании.

Ключевые слова: сертификация, система менеджмента качества, интеграция, стандарт, глина.

Reference

1. ISO 9000:2015 Quality management systems — Fundamentals and vocabulary - Quality Management Systems-Basic provisions and dictionary.
2. K.A. Tazabekov, Fundamentals of standardization, metrology, certification and quality management. Almaty: Kazakhstan Marketing Association, 2003. – 410 p.
3. Pisarenko K.E, Sharafiev R.G, and Kvitko V.Zh, Reasons for difficulties in implementing quality management systems and how to solve them // quality management - 2020. - part 8.
4. Karzhaubaev K.E., Standardization, certification and management systems. Almaty: Nur-Print, 2015. — 344 p.
5. Efimov V.V and Samsonova M.V., Fundamentals of quality assurance. - M: Ulyanovsk, 2008. – 103-104 p.
6. Leonov O.A, Temasova G.N, and Vergazova Yu.G., Quality management. St. Petersburg: Lan, 2019. - 408p.
7. Matin V.I. Problems of implementation of quality management systems in the Russian Federation // Journal of quality management systems - 2019. - Volume 9. - No. 3. - p. 493-498.
8. Semashina Yu., Kurushina A. Problems and stages of QMS implementation at the enterprise // The role of technical regulation and standardization in the digital economy era: abstracts: II International Scientific and Practical Conference of Young Scientists. – Yekaterinburg, Russia, 2020. – pp. 172-176.
9. Vishtel Yu.G. Overcoming psychological resistance in the implementation of a quality management system // Quality - strategy of the XXI century materials of the XV International Scientific and Practical Conference, 2010, Tomsk, Russia, 2010. - pp. 97-100.
10. Igolnik, O.V. Introduction of quality management systems in industrial enterprises and educational organizations // Technical regulation in the Single Economic Space: collection of articles of the V All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation. - Yekaterinburg, Russia, -2018. - pp. 69-73.
11. Kostyuk G.S. Problems in the implementation of the quality management system of QMS at the enterprise and ways to solve them // Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk. Scientific Journal – 2019. – pp. 235-240.
12. Kasenov K.R., Baisengirova A.J. Development of management systems in Kazakhstan //

Bulletin of KazNPU. – 2017. – pp. 53-59. URL <https://articlekz.com/article/18798>.

13. Official website'. <http://tagbent.com/ru/o-kompanii/istoriya>

14. Corrective action plan based on the results of the annual expert assessment of the QMS for compliance with the requirements of the international standard ISO 9001: 2016.

15. Kokins G. Performance Management. How to bridge the gap between the announced strategy and real processes. - M.: Alpina, 2017. - 315 p.

Information about authors:

Kulisz M. - Ph.D., Associate Professor, Department of Management, Lublin University of Technology, Lublin, Poland.

Zhumabekova J.D. – master's student of standardization and certification, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

Firsova E.B. – master's student of Standardization and Certification, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

Aubakirova Z.A. - Master of Technical Sciences, School of Architecture and Construction, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

Zhairbaeva G.A. - Master of Technical Sciences, School of Architecture and Construction, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

Кулиш М. – Люблин технологиялық университетінің менеджмент факультетінің доценті, Люблин, Польша.

Жұмабекова Ж.Д. – «Стандарттау және сертификаттау» білім беру бағдарламасының магистранты, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан.

Фирсова Е.Б. – «Стандарттау және сертификаттау» білім беру бағдарламасының магистранты, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан.

Аубакирова З.А. – техника ғылымдарының магистрі, сәулет және құрылыс мектебі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан.

Жаурбаева Г.А. – техника ғылымдарының магистрі, сәулет және құрылыс мектебі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан.

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.
- 4(141)/2022 - Астана: ЕҰУ. - 140 б.
Шартты б.т. – 8.75. Таралымы - 15 дана.
Басуға қол қойылды: 30.12.2022 ж.
Ашық қолданыстағы электронды нұсқа: <http://bultech.enu.kz>

Мазмұнына типография жауап бермейді

Редакция мекен-жайы: 010008, Қазақстан Республикасы Астана қ.,
Сәтбаев көшесі, 2.

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті
Тел.: +7(71-72) 70-95-00 (ішкі 31-315)

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында
басылды.