

eISSN 2709-4766
ISSN 2709-4758

№1 (143)

ҚазҰТЗУ ХАБАРШЫСЫ

КазНИТУ
ВЕСТНИК

KazNRTU
VESTNIK

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



ҚазҰТЗУХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК КАЗНИТУ

VESTNIK KazNRTU

№ 1 (143)

Главный научный редактор
А.К. Тулемшов – и.о. Ректора

Заместитель Главного научного редактора
А.Х. Сыздыков – проректор по науке

Редакционная коллегия:

К.Б. Рысбеков (Казахстан), **З.К. Туйебахова** (Казахстан), **Б.Р. Ракишев** (Казахстан),
Т.А. Енсебаев (Казахстан), **А.А. Бекботаева** (Казахстан), **А.Е. Абетов** (Казахстан),
Ж.Р. Уалиев (Казахстан), **И.Н. Столповских** (Казахстан), **С. Азат** (Казахстан),
Ш.Н. Кубекова (Казахстан), **Х.С. Рафикова** (Казахстан), **Б.С. Селенова** (Казахстан),
Р.И. Мухамедиев (Казахстан), **Д.Б. Нурсеитов** (Казахстан), **Н.А. Сейлова** (Казахстан),
А. Калтаев (Казахстан), **R. Seltmann** (Великобритания), **Л. Евгений** (США), **В.Г. Лозинский**
(Украина), **О.Н. Бодин** (Россия), **А.В. Сладковски** (Польша), **В.А. Зорин** (Россия),
А.Д. Кольга (Россия), **В.П. Селяев** (Россия), **О.В. Атаманова** (Россия), **С.А. Монтаев**
(Казахстан), **B.S. Rosa** (Великобритания), **F.V. Leticia** (Бельгия), **I. Vassilis**
(Великобритания), **K. Nicolas** (Греция), **I. Galaev** (Нидерланды), **В. Bagher** (Иран),
С.А. Гнатюк (Украина), **М.Н. Калимолдаев** (Казахстан), **О.Ж. Мамырбаев** (Казахстан).

Учредитель:

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева

Регистрация:

Министерство информации и общественного развития Республики Казахстан
№ KZ22VPY00030188 от 15.12.2020г.

Официальный сайт: <https://vestnik.satbayev.university/index.php/journal/>

Основан в августе 1994 г. Выходит 6 раз в год

Адрес редакции:
г. Алматы, ул. Сатпаева, 22
тел.: 292-63-46

● НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 528.48

<https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.v143.i1.01>

Г. Сейтказина, С. Солтабаева
Satbayev University, Алматы, Казахстан

ОБ УЧЕТЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ГЕОМОНИТОРИНГЕ УСТОЙЧИВОСТИ КОНСТРУКЦИЙ СПОРТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРЕДГОРНОЙ МЕСТНОСТИ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы учета особенностей геомеханического состояния массива горных пород в сложных условиях предгорной местности для решения актуальной научно-практической проблемы по изучению негативных воздействий геомеханических процессов на устойчивость конструкций и безопасность спортивных объектов республиканского и международного значения. Было отмечено, что одним из основных причин нарастания случаев деформирования инженерных объектов является недостаточная изученность процессов развития динамики сдвижения поверхностных грунтов и изменения физико-механических свойств горных пород. В этой связи, был проведен анализ инженерно-геологических особенностей массива горных пород на территории международного комплекса лыжных трамплинов «Сункар». Было установлено развитие геомеханических процессов на территории объекта, приводящих к деформированию основания и конструкций трамплинов, что обуславливает о необходимости проведения высокоточных геомониторинговых измерений.

Ключевые слова: геодезический мониторинг, устойчивость конструкций спортивных сооружений, геомеханические процессы, трамплины.

Вступление. На сегодняшний день, исследования по геомеханическому состоянию массива горных пород в сложных условиях предгорной местности направлены на решение научно-практической проблемы по изучению негативных воздействий геомеханических процессов на устойчивость конструкций и безопасность по долгосрочной эксплуатации различных инженерных объектов, в том числе и спортивных.

В этой связи, изучение динамики геологических и деформационных процессов в сложных горных и предгорных условиях стало актуальной проблемой в мире, странах СНГ и в нашей стране, вызывающей большое внимание ученых и исследователей [1,2,3,4]. Важность проблемы обуславливается, в первую очередь, прогрессирующим нарастанием различного рода недопустимых смещений, оползней в зонах расположения крупных инженерных объектов. Геомеханические процессы приводят к большому количеству катастрофических ситуаций, связанных с нарушением устойчивости основания и конструкций зданий, сооружений, крытых стадионов, высокогорных спортивных комплексов, предназначенных для проведения соревнований республиканского и международного значения.

В мировой и отечественной практике выявление опасных геологических и оползневых процессов, изучение механизма и кинематики деформационных перемещений выполняются на основе высокоточных геодезических методов наблюдений [5,6,7,8,9]. Необходимость геодезического мониторинга за деформационными и оползневыми процессами очевидна,

поскольку его результаты наиболее точно отражают в интегральной количественной форме динамику развития геомеханических процессов в сложных условиях предгорной местности.

Один из основных причин нарастания случаев деформирования инженерных объектов, считаем, недостаточная изученность процессов развития динамики сдвижения поверхностных грунтов и изменения физико-механических свойств горных пород. В этой связи, вопросы исследования и учета особенностей геомеханических процессов является необходимым условием для проведения геодезического мониторинга в предгорной местности на основе высокоточных измерений.

В данной статье будут рассмотрены инженерно-геологические особенности территории исследуемого объекта, как один из основных факторов возникновения оползневых смещений и деформаций конструкций спортивного сооружения.

Основное содержание работы. В нашей стране немало горно-спортивных сооружений, предназначенных для проведения спортивных мероприятий республиканского и международного значения. Объектом исследования является уникальный международный комплекс лыжных трамплинов «Сункар», который входит в пятерку лучших мировых сооружений такого типа.

Инженерно-геологические изыскания на территории комплекса показали, что в геоморфологическом отношении исследуемый участок находится у сочленения водораздела междуречья р.Ремизовка и р. Есентай с предгорной равниной, на северном склоне грядового останца. В местах естественных водосборов образовались ложбины, которые в верхней части водоразделов имеют ширину нескольких метров и, постепенно расширяясь к нижней части, достигают ширины до 30 м. Слоны ложбин имеют пологие формы и закреплены кустарником и травянистой растительностью (рисунок 1).

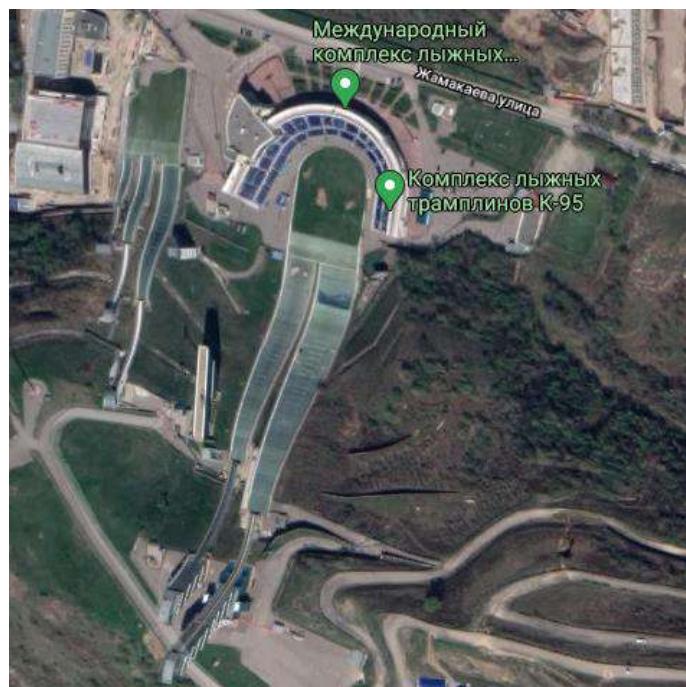


Рисунок 1. Территория комплекса трамплинов (Google снимок)

Абсолютные отметки поверхности земли колеблются в пределах от 913,0 м до 1036 м.

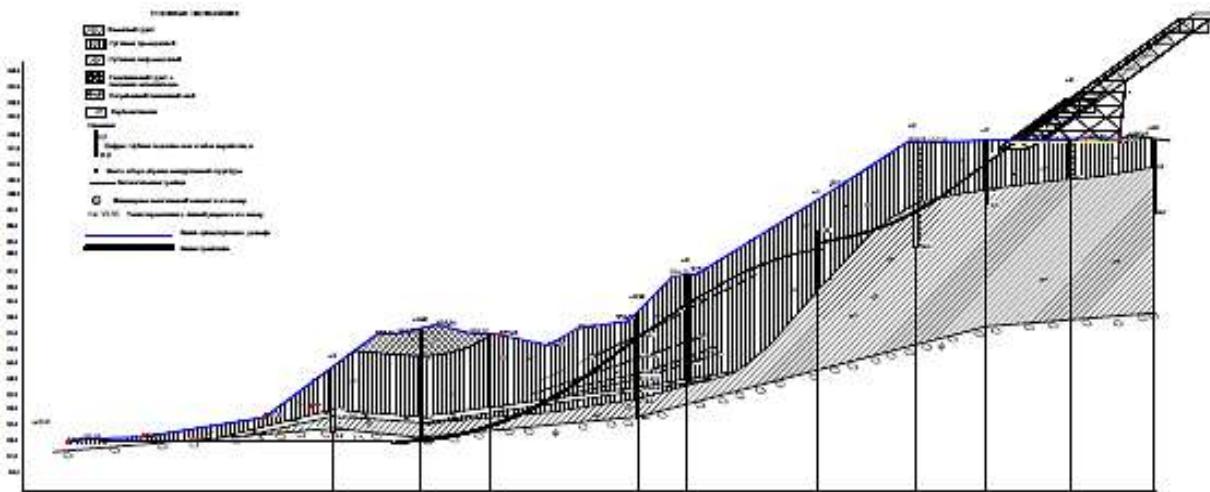
К югу и юго-западу от участка находится бывший карьер по разработке грунта для кирпичного завода.

Еще в 1988 году отмечалось, что деформация лессовых грунтов на участке существующих лыжных трамплинов проявилась в результате активной техногенной

деятельности, в частности при разработке части территории карьерами кирпичного завода. Поверхностный слой, мощностью до 1,0 м срезался и участок подвергался размыву талыми и дождевыми водами. Такие участки расположены в непосредственной близости к территории трамплинов. В результате на оголенных участках образовались промоины с последующим образованием суффозионно-просадочных колодцев. Участками свод подземных галерей обрушен и суффозионно-просадочные колодцы соединены между собой промоинами. В результате того, что атмосферные воды продолжают поступать в суффозионно-просадочные колодцы происходит переуглубление их в связи с тем, что лессовидные суглинки легко размываются и в образовавшиеся подземные «коридоры» происходит вынос частиц грунта. Глубина суффозионно-просадочных колодцев достигает 4,5-7,0 м, стены их подвержены обрушению. В настоящее время углубление суффозионных колодцев продолжается за счет поступления атмосферных вод. На водораздельном участке в результате срезки и отбора грунта для строительства насыпного трамплина образовались просадочные блюдца. Они имеют слабовыраженный в рельефе слабовогнутый профиль.

На территории в геолого-литологическом строении принимают участие нижнечетвертичные эоловые отложения, представленные лессовидными суглинками, верхнечетвертичные аллювиально-пролювиальные отложения, представленные галечниковыми грунтами, перекрытыми суглинками и современными отложениями, представленными почвенно-растительным слоем или насыпными грунтами.

Как видно из геологического разреза (рисунок 2) в пределах исследуемой площадки выделены следующие инженерно-геологические элементы: насыпные грунты; почвенно-растительный слой; суглинки просадочные; суглинки непросадочные; галечниковые грунты с супесчаным заполнителем; галечниковые грунты с песчаным заполнителем; погребенный почвенный слой.



значение показателя -0,005). Величина суммарной просадки достигает до 113,9 см. Тип грунтовых условий по просадочности – II (второй).

Грунтовые воды исследуемой территории вскрыты в 1987 году в скважине № 52369 на глубине 32,8 м. Водовмещающими породами являются суглинки.

Кроме вышеперечисленных геомеханических процессов, необходимо отметить, что в пределах склона возможно проявление опасных сейсмических процессов. Согласно карте комплексного сейсмического микрорайонирования города Алматы и прилегающих территорий участок комплекса трамплинов расположен в границах сейсмического участка III-B-2 (верхняя предгорная ступень).

По результатам оценки сейсмических свойств грунтов, выполненной в соответствии с требованиями таблицы 4.1 СНиП РК 2.03-30-2006 [10], установлено, что грунты слагающие данную толщу характеризуются III-ей категорией по сейсмическим свойствам из-за высоких ($e > 0,9$) значений коэффициентов пористости.

Инструментальные сейсмические наблюдения с использованием методов инженерной сейсмологии и сейсморазведочных измерений, выполненные в аналогичных условиях подтверждают, что в изученных грунтовых условиях сейсмический эффект равен 10-ти баллам. Исходная сейсмичность района равна 9-ти баллов, уточненное значение сейсмичности всей территории равно 10 (десяти) баллам.

Таким образом, территория трамплинов, расположенный в предгорной местности Ремизевского ущелья, подвергается многим физико-геологическим явлениям: смещение грунтов вниз по склону (оползневые процессы), оврагообразование, промоины, просадочность, сейсмические явления. Очевидно, что эти геомеханические процессы негативно влияют на устойчивость основания и конструкций спортивного объекта при эксплуатации и могут породить социально-экономический ущерб. В этой связи, на первом этапе был проведен анализ особенностей развития геомеханических процессов на территории лыжных трамплинов. В дальнейшем, задачи по определению величин и характеристик деформаций и смещений (вертикальные и горизонтальные смещения, скорость, направление сдвига и др.) слоев горных пород предгорной местности и их влияния на деформирование основания и конструкций лыжных трамплинов будет решаться высокоточными геодезическими измерениями.

Выводы. В статье рассмотрены инженерно-геологические особенности массивов горных пород на территории международного комплекса лыжных трамплинов «Сункар», как важное условие для проведения геомониторинга деформационных процессов. На территории установлено развитие геомеханических процессов, приводящих к деформированию основания и конструкций трамплинов, которое обуславливает о необходимости проведения высокоточных геомониторинговых измерений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Zaalishvili V., Chotchaev K., Melkov D. Geodetic, geophysical and geographical methods in landslide investigation: Luar case study, E3S Web of Conferences, 164(1): 01014.- January 2020. DOI: [10.1051/e3sconf/202016401014](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016401014)
- [2] Konyushkov, V.V. Veselov, A.A. Kondratyeva, L.N. Comprehensive analysis of the results of engineering surveys for design, construction and exploitation of structures in the areas with landslide processes// Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering. - Volume 328. - Issue 11.-2017. - Pages 111-125
- [3] Зеркаль О.В., Фоменко И.К., Кай Кан. Оценка устойчивости склонов в условиях сейсмического воздействия// Промышленное и гражданское строительство. - 2018.-№4.-С.33–36.
- [4] Симонян В.В., Тамразян А.Г. К оценке безопасности зданий и сооружений на оползнеопасных территориях с учетом силы смещения оползня, момента его сдвига и ускорения // Вестник МГСУ.- 2016.- №7.- С. 101-113.

[5] Осипов В.И., Мамаев Ю.А., Ястребов А.А. Условия развития опасных геологических процессов на территории строительства горно-спортивных сооружений в Краснополянском районе г. Сочи// Журнал Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология (Российская академия наук).- 2013.- №4.-С. 291–302

[6] Ибрагимова Э.И., Гайрабеков И.Г., Мишиева А.Т. Анализ современных геодезических методов наблюдения за деформационными и оползневыми процессами// Вестник ГГНТУ. Технические науки. - 2020. - том XVI -№1(19).

[7] Ибрагимова Э.И., Гайрабеков И.Г., Мишиева А.Т., Ялмаева М.А., Муртазова Х.М. Решение проблем оползнеопасных территорий с использованием геодезических методов// Международный симпозиум «Технические науки и науки о Земле: прикладные и фундаментальные исследования» (ISEES 2018) Комплексный научно-исследовательский институт Х.И. Ибрагимова.-Грозный. -11-16 ноября 2018 г. DOI:10.34708/GSTOU. 2020.19.1.005

[8] Данилов В.А., Федоров А.В., Морозова В.А. Комплексное применение технологии ГИС и наземного лазерного сканирования для исследования оползневых тел (на примере оползня в Октябрьском ущелье города Саратова) // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле.-2019.-Т. 19, вып.3.-С. 160–167. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-3-160-167>

[9] Вишневская Е.И., Данченко О.В. Влияние оползневых процессов на деформации зданий и сооружений. - Иркутск: Изд-во ИРНИТУ. -2016. -С.114–117.

[10] СНиП РК 2.03-30-2006 Строительство в сейсмических районах.

[11] Отчет об инженерно-геологических изысканиях на объекте: «Строительство международного комплекса лыжных трамплинов в г. Алматы».

REFERENCES

[1] Zaalishvili V., Chotchaev K., Melkov D. Geodetic, geophysical and geographical methods in landslide investigation: Luar case study, E3S Web of Conferences, 164(1): 01014.- January 2020. DOI: [10.1051/e3sconf/202016401014](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016401014)

[2] Konyushkov, V.V. Veselov, A.A. Kondratyeva, L.N. Comprehensive analysis of the results of engineering surveys for design, construction and exploitation of structures in the areas with landslide processes// Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering. - Volume 328. - Issue 11.-2017. - Pages 111-125

[3] Zerkal' O.V., Fomenko I.K., Kaj Kan. Ocena ustojchivosti sklonov v uslovijah sejsmicheskogo vozdejstvija// Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. - 2018.-№4.-S.33–36.

[4] Simonjan V.V., Tamrazjan A.G. K ocenke bezopasnosti zdanij i sooruzhenij na opolzneopasnyh territorijah s uchetom sily smeshhenija opolznja, momenta ego sdviga i uskorenija // Vestnik MGSU.- 2016.- №7.- S. 101-113.

[5] Osipov V.I., Mamaev Ju.A., Jastrebov A.A. Uslovija razvitiija opasnyh geologicheskikh processov na territorii stroitel'stva gorno-sportivnyh sooruzhenij v Krasnopoljanskom rajone g. Sochi// Zhurnal Geokologija. Inzhenernaja geologija. Gidrogeologija. Geokriologija (Rossijskaja akademija nauk).- 2013.- №4.-S. 291–302.

[6] Ibragimova Je.I., Gajrabekov I.G., Mishieva A.T. Analiz sovremennyh geodezicheskikh metodov nabljudenija za deformacionnymi i opolznevymi processami// Vestnik GGNTU. Tehnicheskie nauki. - 2020. - tom XVI -№1(19).

[7] Ibragimova Je.I., Gajrabekov I.G., Mishieva A.T., Jalmaeva M.A., Murtazova H.M. Reshenie problem opolzneopasnyh territorij s ispol'zovaniem geodezicheskikh metodov// Mezhdunarodnyj simpozium «Tehnicheskie nauki i nauki o Zemle: prikladnye i fundamental'nye issledovaniya» (ISEES 2018) Kompleksnyj nauchno-issledovatel'skij institut H.I. Ibragimova.-Groznyj. -11 16 nojabr' 2018 g. DOI:10.34708/GSTOU. 2020.19.1.005.

[8] Danilov V.A., Fedorov A.V., Morozova V.A. Kompleksnoe primenie tehnologii GIS i nazemnogo lazernogo skanirovaniya dlja issledovaniya opolznevyh tel (na primere opolznya v Oktjabr'skom ushhele goroda Saratova) // Izv. Sarat. un-ta. Nov. ser. Ser. Nauki o Zemle.-2019.-T. 19, vyp.3.-S. 160–167. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-3-160-167>

[9] Vishnevskaja E.I., Danchenko O.V. Vlijanie opolznevyh processov na deformacii zdanij i sooruzhenij. - Irkutsk: Izd-vo IRNITU. -2016. -s.114–117.

[10] СНиП РК 2.03-30-2006 Stroitel'stvo v sejsmicheskikh rajonah.

[11] Otchet ob inzhenerno-geologicheskikh izyskanijah na ob'ekte: «Stroitel'stvo mezhdunarodnogo kompleksa lyzhnyh tramplinov v g. Almaty».

Г. Сейтказина, С. Солтабаева
Satbayev University, Алматы, Қазақстан

ТАУ БӨКТЕРІНДЕ ОРНАЛАСҚАН СПОРТТЫҚ НЫСАНДАР
КОНСТРУКЦИЯЛАРЫНЫҢ ОРНЫҚТЫЛЫҒЫН БАҚЫЛАУ КЕЗІНДЕ
ГЕОМЕХАНИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІН ЕСЕПКЕ АЛУ ТУРАЛЫ

Аннотация. Мақалада геомеханикалық процестердің республикалық және халықаралық маңызы бар спорт обьектілерінің конструкцияларының тұрақтылығы мен қауіпсіздігіне теріс әсерін зерттеу бойынша өзекті ғылыми-практикалық мәселені шешу үшін тау бөктеріндегі тау жыныстары массивінің геомеханикалық жағдайының ерекшеліктерін ескеру мәселелері қарастырылған. Инженерлік нысандардың деформацияға ұшырау жағдайларының көбеюінің негізгі себептерінің бірі жер үсті топырақтарының сырғу динамикасын және тау жыныстарының физика-механикалық қасиеттерінің өзгеруін дамыту процестерінің жеткіліксіз зерттелуі болып табылатыны атап өтілді. Осыған байланысты, ғұмыста "Сұнқар" халықаралық шаңғы трамплиндері кешенінің аумағындағы тау жыныстары массивінің инженерлік-геологиялық ерекшеліктеріне талдау жүргізілді. Зерттеу нысаны аумағында трамплиндердің негіздері мен конструкцияларын деформацияға ұшырауға алып келетін геомеханикалық процестердің дамуы анықталды, бұл жоғары дәлдікті геомониторингтік өлшеулерді жүргізу қажеттілігін негіздейді.

Негізгі сөздер: геодезиялық бақылау, спорттық үймереттер конструкциясының тұрақтылығы, геомеханикалық процесстер, трамплин.

G. Seitkazina, S. Soltabayeva
Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

ON ACCOUNT OF THE FEATURES OF THE GEOMECHANICAL PROCESSES IN
GEOMONITORING STRUCTURAL STABILITY OF SPORTS FACILITIES
IN THE FOOTHILLS AREA

Abstract. The article discusses the issues of taking into account the features of the geomechanical state of the rock massif in the complex conditions of foothill area to solve the actual scientific and practical problem of studying the negative effects of geomechanical processes on the stability of structures and safety of sports facilities of national and international importance. It was noted that one of the main reasons for the increase cases of deformation in engineering objects is insufficient study of processes of development of dynamics of surface soils shift and change in the physical and mechanical properties of rocks. In this regard, an analysis was carried out of engineering and geological features of the rock massif on the territory of the international complex of ski jumps "Sunkar". It was established the development of geomechanical processes on the territory of the object, leading to deformation of the base and structures of the ski jumps, which determines the need for high-precision geomonitoring measurements.

Keywords: geodetic monitoring, structural stability of sports facilities, geomechanical processes, ski jumps.

**А.А. Кабдыкадыров*, О.А. Зубова, Г.А. Муканова,
М.М. Даuletбаева, Н.В. Воронова**

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

*e-mail: alemger2010@mail.ru

КЛИМАТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ САМООЧИЩЕНИЯ АТМОСФЕРЫ В г. УСТЬ-КАМЕНОГОРСКЕ

Аннотация. В статье проведен анализ условий влияния метеорологических и климатических факторов на уровень загрязнения атмосферы, способствующих самоочищению атмосферы от загрязняющих веществ в промышленных центрах, на примере г. Усть-Каменогорск. Рассмотрены методики по расчету метеорологического потенциала рассеивания примесей и самоочищения атмосферы от загрязняющих веществ. По данным климатических справочников рассчитаны параметры климатического потенциала рассеивающей способности атмосферы (КПА) и коэффициент самоочищения атмосферы (К) в г. Усть-Каменогорск. По результатам исследования сделан вывод, что, рассчитанные, среднегодовые показатели параметров КПА и К в климатическом аспекте изучаемого региона характеризуют крайне неблагоприятные условия для рассеивания примесей в воздушной среде г. Усть-Каменогорск. Проведенная работа позволяет осуществить дальнейший анализ региональной оценки экологического состояния атмосферы крупного промышленного центра.

Ключевые слова: метеорологический потенциал самоочищения атмосферы, метеорологические условия, климат, приземные инверсии, загрязняющие вещества, примеси.

Введение. Ежегодно в г. Усть-Каменогорск концентрация вредных примесей в воздушном пространстве остается на высоком уровне загрязнения. По данной причине ежегодно Усть-Каменогорск входит в список самых загрязненных городов Казахстана. В атмосферный воздух города поступают загрязняющие вещества от местных производственных предприятий, поэтому воздушная среда находится на грани сильной антропогенной нагрузки. Проблемы качества воздушной среды в Усть-Каменогорске являются актуальными [1].

По данным Департамента статистики по г. Усть-Каменогорску количество источников составило 6023, из них: организованных - 3293, оборудованных очистными сооружениями – 712.

В городе имеется большое число техногенных загрязнителей, среди которых можно выделить автотранспорт, частные территории, а также промышленные предприятия [2]. Среди промышленных отраслей главными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются такие крупные предприятия как: ТОО «Казцинк», АО Ульбинский металлургический завод, Усть-Каменогорская ТЭЦ, Согринская ТЭЦ.

При оценке эффективности мероприятий по защите и дальнейшей охране атмосферного воздуха необходимо учитывать существенное влияние метеорологических факторов на формирование уровня загрязнения. Имеется крепкая связь между метеорологическими факторами и качеством атмосферного воздуха. С одной стороны, влияют условия нарушения однородности метеорологических полей, физических особенностей подстилающей поверхности, и с другой, когда невозможно получить детерминированные закономерности, возможен путь статистического анализа фактических и климатических данных наблюдений [3, 4].

Методы исследования и материалы. Одним из наиболее применяемых на практике методов по оценке самоочищения атмосферы от примесей получил потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА). Данный метод представляет собой отношение средних уровней

концентраций вредных веществ при фактических выбросах в конкретном и условном регионе. Данный параметр показывает, во сколько раз средний уровень загрязнения воздуха будет выше, чем в условном, который обусловлен реальной повторяемостью метеорологических параметров, в изучаемом регионе. Потенциал загрязнения атмосферы включает в себя наличие слабых скоростей ветра, застоев воздуха, туманов, повторяемость приземных температурных инверсий. Этот коэффициент противоположен рассеивающей способности атмосферы (РСА). Чем больше РСА, тем меньше ПЗА. В этом методе учитываются лишь условия, способствующие накоплению загрязнителей, при этом не рассматриваются процессы их дальнейшего рассеивания в атмосферном воздухе, что и является недостатком данного метода [5].

Селегей Т.С. предложил понятие метеорологического и климатического потенциала рассеивающей способности атмосферы (МПА и КПА), определяемого по формуле:

$$МПА (КПА) = \frac{(Р_{ш}+Р_{т})}{(Р_{о}+Р_{в})}, \quad (1)$$

где $Р_{ш}$ – повторяемость скоростей ветра 0-1 м/с; $Р_{т}$ – повторяемость числа дней с туманом; $Р_{о}$ – повторяемость числа дней с осадками $\geq 0,5$ мм; $Р_{в}$ – повторяемость скоростей ветра ≥ 6 м/с.

Чем больше по абсолютной величине МПА, тем хуже условия для рассеивания. Если $МПА < 1$, то в рассматриваемый отрезок времени преобладает повторяемость процессов, способствующих самоочищению атмосферы, в этом случае создаются благоприятные условия для рассеивания. Если $МПА > 1$, то происходит накопление вредных веществ, и формируются условия, препятствующие их рассеиванию; при $МПА > 3$ ситуация является крайне неблагоприятной. Формула (1) позволяет рассчитать потенциал самоочищения атмосферы на основе стандартных метеорологических наблюдений. В качестве исходных данных возможно использование многолетних значений метеорологических параметров, что позволит определить климатический потенциал самоочищения атмосферы [6].

Оценка метеорологического потенциала самоочищения атмосферы широко применяется в Сибири и на Дальнем Востоке, где наличие мощных производственных комплексов сочетается с крайне неблагоприятными условиями рассеивания промышленных выбросов. Однако МПА характеризует условия накопления, а не рассеивания. Поэтому целесообразно в расчете применять коэффициент самоочищения атмосферы К, обратный МПА:

$$K = \frac{1}{МПА}, \quad (2)$$

Коэффициент самоочищения атмосферы К рассчитывается как отношение повторяемости процессов, положительно влияющих на удаление примесей из атмосферы, к повторяемости процессов, которые способствуют накоплению загрязняющих веществ в воздухе. В регионах, где число дней с туманами относительно невелико, но при этом высока повторяемость приземных задерживающих слоев (ПЗС), при расчете коэффициента К желательно учитывать повторяемость ПЗС вместо туманов. В этом случае уравнение (2) примет вид:

$$K = \frac{(Р_{в}+Р_{о})}{(Р_{ш}+Р_{ин})}, \quad (3)$$

где $Р_{ш}$ – повторяемость скоростей ветра 0-1 м/с; $Р_{ин}$ – повторяемость приземных задерживающих слоев; $Р_{о}$ – повторяемость числа дней с осадками $\geq 0,5$ мм; $Р_{в}$ – повторяемость скоростей ветра ≥ 6 м/с.

При $K < 0,33$ складываются условия, крайне неблагоприятные для рассеивания, при $0,33 < K < 0,8$ – неблагоприятные, при $0,8 < K < 1,25$ – ограниченно благоприятные и при $K > 1,25$ – благоприятные. Коэффициент К позволяет оценить вклад метеорологических факторов и их характеристик в формирование уровня загрязнения воздуха [7].

Повторяемость приземных задерживающих слоев (ПЗС) рассчитывается по уравнению регрессии [8]. Это уравнение имеет вид:

$$Р_{ин} = 31,4 + 0,29Р_{сл}, \quad (4)$$

где $Р_{ин}$ – повторяемость приземных задерживающих слоев; $Р_{сл}$ – повторяемость слабых ветров (0-1 м/с).

В работе [9] Аргунчинцева А.В. и Кочугова Е.А. рассматривают различные подходы, основанные на мировом опыте, к оценке потенциала, как загрязнения, так и самоочищения воздушной среды. Ими обсуждаются различные смысловые понятия соответствующих индексов самоочищения и рассеивания в атмосфере, их преимущества и недостатки.

Усть-Каменогорск окружен отрогами горных хребтов высотами до 800-900 м, таким образом, город «открыт» только в северо-западном и, чуть менее, в юго-восточном направлении. Данное положение значительно уменьшает возможность быстрого непрерывного рассеивания и переноса выбросов вредных примесей от производственных предприятий и автотранспорта за пределы воздушной среды города. Также данная ситуация с низкой степенью продуваемости ухудшается уменьшением площадей лесных насаждений, уплотнением и увеличением количества застроек в городской черте [10].

Ветровой режим является одним из главных метеопараметров, оказывающий свое влияние на перенос и рассеивание токсичных примесей в атмосферном воздухе. При проектировании размещений производственных зданий, учитываются повторяемость направления ветра. Скорость ветра также играет немаловажную роль в переносе примесей. На высотах 11-12 м, в зависимости от градации ветровой скорости, выявляются 2 максимальных значения загрязнения. Первый максимум отмечается при скоростях ветра 0-1 м/с (слабый ветер), а второй при 4-6 м/с. При этом наиболее сильные загрязнения отмечаются при слабых ветрах с наличием приземной температурной инверсии, а при умеренном ветре – с отсутствием инверсии. В городах возможны такие метеорологические ситуации: первая - с повышением скорости ветра при устойчивости атмосферной стратификации уровень концентраций понижается; и вторая - при опасных скоростях ветра, максимальное загрязнение от выбросов отмечается при неустойчивости атмосферной стратификации [11].

Опасными ветрами считаются такие скорости ветра, при которых турбулентное перемешивание переносит загрязняющие вещества с высоких слоев атмосферы в низкие (приземный слой). Также скорость ветра на высоте 0,5-1 км влияет на интенсивность переноса за пределы городской территории токсичных дымовых загрязнений [12].

При слабых ветрах выбросы от низких и неорганизованных источников скапливаются в приземных слоях воздуха, и, тем самым, в городах наблюдаются наибольшие концентрации примесей. Застой воздуха также очень негативно сказывается на качестве воздуха, который образуется при слабых скоростях ветра с наличием приземных температурных инверсий. При застое выбросы вредных примесей не переносятся в верхние слои атмосферы и начинают скапливаться у источников выброса. Увеличение нормированных концентраций загрязнителей происходит при скоростях 4-5 м/с. Тогда как заметное уменьшение приземных концентраций загрязняющих веществ отмечается при скоростях ≥ 6 м/с [13].

Приземные температурные инверсии также относятся к неблагоприятным метеоусловиям. Атмосферные температурные инверсии с устойчивой стратификацией, являются задерживающими слоями, которые препятствуют переносу и рассеиванию загрязнителей в атмосферных слоях [14].

По климатическим данным, в Усть-Каменогорске повторяемость ветра градации ≥ 6 м/с больше весной, с пиком в апреле и мае до 10,9 %. Что же касается слабых ветров (0-1 м/с), то

наибольшие значения повторяемости приходятся на зимнее время, с максимумом в феврале 58,1 % (таблица 1).

Таблица 1. Повторяемость (%) слабых (0-1 м/с) и сильных (≥ 6 м/с) ветров в Усть-Каменогорске

Градация скоростей ветра, м/с	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
0-1	57,2	58,1	56,2	35,8	32,5	37,4	41,1	44,4	46	41,1	46,1	54,8	45,8
≥ 6	7,8	8	5,6	10,9	10,9	8	6,6	6,6	7,1	9	9,6	7,8	8,2

В среднегодовом значении в г. Усть-Каменогорск наиболее преобладающее направление ветра – юго-восточное, с повторяемостью 21 %. В теплый период времени года в городе наблюдается преобладание – северо-западного ветра, с годовой повторяемостью – 17 %. ТОО «Казцинк», АО Ульбинский металлургический завод и Усть-Каменогорская ТЭЦ расположены в пределах городской черты в северной части города. Отсюда следует, что северо-западные ветры в теплый период времени переносят вредные вещества от выбросов промышленных предприятий в восточную и юго-восточную часть города, тем самым увеличивая здесь приземные концентрации примесей. Наибольшая повторяемость в холодный период времени года приходится на юго-восточное направление ветра, которая может способствовать очищению воздуха в городе.

Среднегодовая повторяемость штилей равна 44 %, которая, в свою очередь, играет ключевую роль в неблагоприятных условиях для выветривания загрязняющих веществ за пределы городской черты (таблица 2). Наибольшая повторяемость штилей наблюдается зимой (55 %).

Таблица 2. Среднегодовая повторяемость (%) направлений ветра в г. Усть-Каменогорске

Сезон	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
Зима	5	4	15	31	13	7	12	13	55
Весна	9	5	13	19	9	10	17	19	40
Лето	13	8	15	15	6	7	15	22	39
Осень	5	3	16	24	11	10	16	14	42
Год	8	5	15	21	10	9	15	17	44

Следующим метеопараметром, способствующим очищению атмосферного воздуха от примесей, являются осадки, влияние которых учитывается через повторяемость числа дней с осадками $\geq 0,5$ мм за сутки. Предполагается, что такое количество осадков способно осадить придорожную пыль и другие аэрозоли. Удаление некоторых токсичных веществ из атмосферы в большой степени зависит от интенсивности и количества выпадения осадков. К примеру, при выпадении осадков, концентрации сернистых газов и диоксида азота понижаются, окислители в виде озона и других веществ летом после дождя исчезают из атмосферы почти полностью [15].

В многолетнем режиме в Усть-Каменогорске повторяемость атмосферных осадков с градацией $\geq 0,5$ мм во временном ходе распределяется почти равномерно с небольшим увеличением в ноябре и декабре до 10,4 % (таблица 3).

Таблица 3. Повторяемость числа дней с осадками $\geq 0,5$ мм в Усть-Каменогорске

Месяц												Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
8,6	7,5	8,0	7,7	9,1	9,0	9,1	8,1	6,8	9,7	10,4	10,4	104,4

Наличие туманов в городах увеличивают приземные концентрации примесей, по причине того, что водяные капли поглощают вредные примеси. Таким образом, токсичные вещества оседают в приземных слоях, увеличивая суммарную концентрацию [16-17].

Повторяемость числа дней с туманами по климатическим данным по Усть-Каменогорску представлены в таблице 4.

Таблица 4. Повторяемость числа дней с туманами в Усть-Каменогорске

Месяц												Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
28,7	18,6	25,2	6,7	1,3	1,0	2,3	3,2	6,3	11,0	26,7	35,2	13,8

По Усть-Каменогорску увеличение повторяемости числа дней с туманами отмечается в холодный период времени, где наибольшая повторяемость в декабре достигает до 35,2 %, а минимальный показатель в июне – 1,0 %.

Результаты и обсуждение. Одним из ключевых моментов анализа самоочищения атмосферы является расчет повторяемости ПЗС, значения которого позволит оценить коэффициент самоочищения К. Согласно уравнению (4), для Усть-Каменогорска рассчитана повторяемость ПЗС по данным климатического справочников [14-16] (таблица 5).

Таблица 5. Повторяемость ПЗС в Усть-Каменогорске

Месяц												Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
28,70	18,57	25,16	6,67	1,29	1,00	2,26	3,23	6,33	10,97	26,67	35,16	13,78

Анализ таблицы 5 показал, что в Усть-Каменогорске наибольшая повторяемость ПЗС приходится на холодный период времени года с максимумом в декабре – 35,16 %, что может говорить о повышенных значениях приземных концентрации вредных веществ в атмосфере в этот период.

На основе данных из климатических справочников [14-16] и повторяемости ПЗС по Усть-Каменогорску рассчитаны показатели климатического потенциала рассеивающей способности атмосферы (КПА) по формуле (1) и коэффициент самоочищения атмосферы К по формуле (2) в многолетнем периоде.

Таблица 6. Показатели самоочищения атмосферы в Усть-Каменогорске

Индекс	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
КПА	2,36	2,20	2,59	1,16	0,84	1,01	1,21	1,46	1,76	1,29	1,64	2,18	1,62
К	0,35	0,33	0,30	0,47	0,55	0,48	0,43	0,37	0,33	0,48	0,49	0,41	0,41

На рисунке 1 представлен график временного хода коэффициентов КПА и К в многолетнем режиме по городу Усть-Каменогорск.

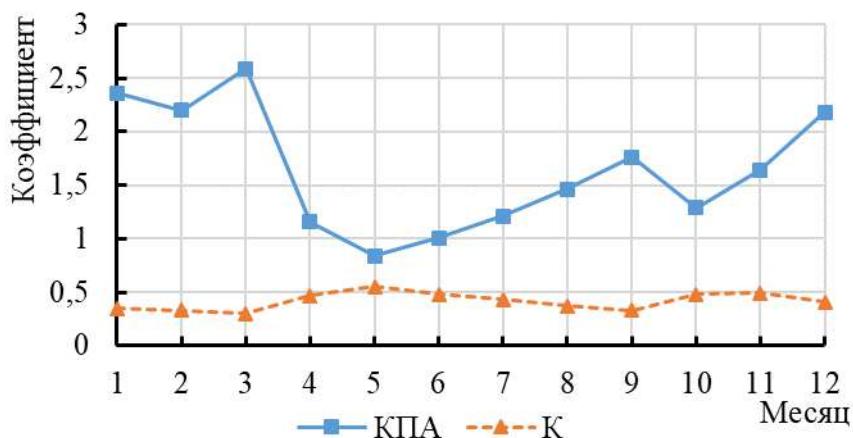


Рисунок 1. График временного хода коэффициентов КПА и К в многолетнем режиме

Согласно рисунку 1 отмечается, что в многолетнем режиме города Усть-Каменогорск показатель КПА во временном ходе наблюдаются неблагоприятные условия для рассеивания примесей в атмосферном воздухе. Показатель КПА уменьшается в теплое время года, с минимумом в мае до значения 0,84. В холодное время наблюдается его повышение с максимумом в марте – 2,59. Среднегодовое значение КПА – 1,62, что обобщает неблагоприятные условия для самоочищения атмосферы.

Что же касается коэффициента К, обратный по отношению к КПА, то пик его наблюдается в мае (0,55), а минимум в марте (0,30). Среднегодовое значение К – 0,41 (крайне неблагоприятные условия).

Таким образом, в мае показатель КПА < 1 ($K > 1,25$), в этот месяц наблюдаются процессы, благоприятные для самоочищения атмосферы. В остальные месяцы КПА > 1 ($K < 0,33$), в этот период происходит накопление загрязняющих веществ в атмосфере, и формируются условия, препятствующие их рассеиванию. Среднегодовые показатели данных коэффициентов характеризуют крайне неблагоприятные условия для рассеивания примесей в воздушной среде Усть-Каменогорска.

Выводы и рекомендации. По результатам исследования сделан вывод, что, рассчитанные среднегодовые показатели параметров КПА и К в климатическом аспекте изучаемого региона характеризуют крайне неблагоприятные условия для рассеивания примесей в воздушной среде г. Усть-Каменогорск. Во всем временном ходе коэффициентов самоочищения атмосферы, за исключением мая, наблюдаются неблагоприятные условия, когда происходит накопление вредных веществ в атмосфере, и формируются процессы, препятствующие их дальнейшему рассеиванию. В мае коэффициенты самоочищения показали благоприятные условия, в которых высока доля повторяемости процессов, способствующих самоочищению атмосферы.

Размещение промышленных и теплоэнергетических отраслей в пределах городской территории, и, как следствие, наличие в атмосфере повышенных значений концентраций загрязняющих веществ, выбросы от автотранспорта, а также региональные особенности, такие как континентальность климата, строение местного рельефа, ветровые характеристики, частая повторяемость температурных инверсий, наличие туманов, малое количество осадков, слабая увлажненность, а также рассчитанные в работе коэффициенты самоочищения атмосферы во временном ходе подтверждают крайне неблагоприятную обстановку для рассеивания загрязняющих веществ в г. Усть-Каменогорск.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Самакова А.Б., Белоног А.А., Якупов В.С., Беркинбаев Г.Д., Федоров Г.В., Алыбаева Р.А., Корчевский А.А., Яковлева Н.А. Комплексная оценка экологии и здоровья населения промышленного города. Монография. - Алматы, 2005. – 372 с.
- [2] Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2016 год. - Нур-Султан. – 2017. - 467 с.
- [3] Руководство по прогнозу загрязнения воздуха. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. – 104 с.
- [4] Короткова Н.В., Семенова Н.В. Пространственно-временное изменение уровня загрязнения атмосферы в Саратове. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2015. – 215 с.
- [5] Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 200 с.
- [6] Селегей Т.С. Метеорологический потенциал самоочищения атмосферы Сибирского экономического района // Тр. Зап.-Сиб. НИИ. – 1989. – Вып. 86. – С. 84-89.
- [7] Лапина С.Н., Полянская Е.А., Пужлякова Г.А., Фетисова Л.М., Фетисова Н.А. Метеорологические аспекты загрязнения воздуха в Саратове. – Саратов: Изд-во СГУ, 1998. – 64 с.
- [8] Безуглая Э.Ю., Берлянд М.Е. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере. Справочное пособие. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 328 с.
- [9] Аргучинцева А.В., Кочугова Е.А. Потенциал самоочищения атмосферы // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. - №3– 2019. – С. 3-15.
- [10] Данилова А.Н., Асанова Ж. Т. Оценка факторов загрязнения атмосферного воздуха в городе Усть-Каменогорске // Вестник КАСУ. – № 6. – 2011. – С. 19-26.
- [11] Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 447 с.
- [12] Пужлякова Г.А., Фетисова Л.М., Фетисова Н.А. Методы оценки загрязнения воздуха // Учебно-методическое пособие. – Саратов, 2000. – 36 с.
- [13] Короткова Н. В., Семенова Н. В. Метеорологический потенциал самоочищения атмосферы в Саратове. – Саратов: Издательство Саратовского университета, 2014. – 320 с.
- [14] Справочник по климату Казахстана. Атмосферные осадки. – Р.2. – Алматы: РГП «Казгидромет», 2004. – 76 с.
- [15] Справочник по климату Казахстана. Атмосферные явления. – Р.3. – Алматы: РГП «Казгидромет», 2003. – 67 с.
- [16] Справочник по климату Казахстана. Ветер. Атмосферное давление – Р.5-6. Вып. 1-14. – Алматы: РГП «Казгидромет», 2005. – 336 с.

REFERENCES

- [1] Самакова А.Б., Белоног А.А., Якупов В.С., Беркинбаев Г.Д., Федоров Г.В., Алыбаева Р.А., Корчевский А.А., Яковлева Н.А. Комплексная оценка экологии и здоровья населения промышленного города. Монография. - Алматы, 2005. – 372 с.
- [2] Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2016 год. - Нур-Султан. – 2017. - 467 с.
- [3] Руководство по прогнозу загрязнения воздуха. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. – 104 с.
- [4] Короткова Н.В., Семенова Н.В. Пространственно-временное изменение уровня загрязнения атмосферы в Саратове. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2015. – 215 с.
- [5] Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 200 с.
- [6] Селегей Т.С. Метеорологический потенциал самоочищения атмосферы Сибирского экономического района // Тр. Зап.-Сиб. НИИ. – 1989. – Вып. 86. – С. 84-89.
- [7] Лапина С.Н., Полянская Е.А., Пужлякова Г.А., Фетисова Л.М., Фетисова Н.А. Метеорологические аспекты загрязнения воздуха в Саратове. – Саратов: Изд-во СГУ, 1998. – 64 с.
- [8] Безуглая Э.Ю., Берлянд М.Е. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере. Справочное пособие. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 328 с.
- [9] Аргучинцева А.В., Кочугова Е.А. Потенциал самоочищения атмосферы // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. - №3– 2019. – С. 3-15.

- [10] Данилова А.Н., Асанова Ж. Т. Оценка факторов загрязнения атмосферного воздуха в городе Усть-Каменогорске // Вестник КАСУ. – № 6. – 2011. – С. 19-26.
- [11] Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 447 с.
- [12] Пужлякова Г.А., Фетисова Л.М., Фетисова Н.А. Методы оценки загрязнения воздуха // Учебно-методическое пособие. – Саратов, 2000. – 36 с.
- [13] Короткова Н. В., Семенова Н. В. Метеорологический потенциал самоочищения атмосферы в Саратове. – Саратов: Издательство Саратовского университета, 2014. – 320 с.
- [14] Справочник по климату Казахстана. Атмосферные осадки. – Р.2. – Алматы: РГП «Казгидромет», 2004. – 76 с.
- [15] Справочник по климату Казахстана. Атмосферные явления. – Р.3. – Алматы: РГП «Казгидромет», 2003. – 67 с.
- [16] Справочник по климату Казахстана. Ветер. Атмосферное давление – Р.5-6. Вып. 1-14. – Алматы: РГП «Казгидромет», 2005. – 336 с.

А.А. Кабдықадыров*, О.А. Зубова, Г.А. Муканова, М.М. Даuletбаева, Н.В. Воронова
әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
*e-mail: alemger2010@mail.ru

ӨСКЕМЕН ҚАЛАСЫНДА АТМОСФЕРАНЫҢ ӨЗІН-ӨЗІ ТАЗАЛАУЫНЫҢ КЛИМАТТЫҚ ӘЛЕУЕТИ

Аннотация. Осы зерттеу жұмысында Өскемен қ. мысалында өнеркәсіптік орталықтардағы ластаушы заттардан атмосфераның өзін-өзі тазалауына ықпал ететін атмосфераның ластану деңгейіне метеорологиялық және климаттық факторлардың әсер ету жағдайларына талдау жүргізілді. Ластаушы заттардан қоспалардың таралуы мен атмосфераның өзін-өзі тазартудың метеорологиялық әлеуетін есептөу әдістері қарастырылған. Климаттық анықтамалықтардың деректері бойынша атмосфераның таралу қабілетінің климаттық потенциалының параметрлері (КПА) және атмосфераның өзін-өзі тазарту коэффициенті (К) есептеледі. Зерттеу нәтижелері бойынша зерттелетін аймақтың климаттық аспектісінде КПА және К параметрлерінің есептелген, орташа жылдық көрсеткіштері Өскемен қаласының ауа ортасында қоспалардың таралуы үшін өте қолайсыз жағдайларды сипаттайды деген қорытынды жасалды. Жүргізілген жұмыс ірі өнеркәсіптік орталық атмосферасының экологиялық жай-күйін өнірлік бағалауды одан әрі талдауға ықпал етеді.

Негізгі сөздер: атмосфераның өзін-өзі тазарту әлеуеті, метеорологиялық жағдайлар, климат, жер бетіндегі инверсиялар, ластаушы заттар, қоспалар.

A.A. Kabdykadyrov*, O.A. Zubova, G.A. Mukanova, M.M. Dauletbayeva, N.V. Voronova
al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan
*e-mail: alemger2010@mail.ru

THE CLIMATE POTENTIAL OF ATMOSPHERIC SELF-PURIFICATION IN UST-KAMENOGORSK

Abstract. This research work analyzes the conditions of influence of meteorological and climatic factors on the level of atmospheric pollution that contribute to atmospheric self-purification from pollutants in industrial centers, on the example of Ust-Kamenogorsk. Methods are considered for calculation of meteorological dispersion potential and self-purification of the atmosphere from pollutants. In accordance with climate data, there are calculated the parameters of climatic dispersion potential of the atmosphere (CPA) and the coefficient of atmospheric self-purification (K) in Ust-Kamenogorsk. According to the results of the research, it is concluded that the calculated average annual parameters of CPA and K in the climatic aspect of the studied region characterize extremely unfavorable conditions for the dispersion of impurities in the air environment of Ust-Kamenogorsk. This work contributes to further analysis of the regional assessment of the atmosphere ecological state in a large industrial center.

Keywords: meteorological potential of atmospheric self-purification, meteorological conditions, climate, surface inversions, pollutants, and impurities.

Б.Е. Губашева, М.А. Хасенова*

Жәнгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан

*e-mail: khassen.ma@mail.ru

ӨНДІРІС ӘСЕР ЕТЕТІН АУМАҚТАҒЫ ТОПЫРАҚТЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ЖАЙ-КҮЙІН БАҒАЛАУ

Андратпа. Батыс Қазақстан облысы Ақсай қаласындағы өндірістік аймақтарының өсуі топырақ жамылғысының ластануын, ол өз кезегінде ластанудың тізбекті реакцияны тудырады. Топырақтың ластануына байланысты топырақ ылғалының және жер асты суралының ластануы байқалады. Оның салдарынан топырақтағы процесстер өзгереді, ондағы өсімдіктер, жануарлар мен микроазгалардың қалыпты жағдайы бұзылады.

Мақалада адам қызметінің әсерінен топырақ жамылғысының өзгеруін зерттеу жүмысын орындау бойынша мәліметтер көлтірілген. Табиғи газды қайта өңдеу кәсіпорнының іргелес ауамағындағы техногендік бұзылған топырақтағы қарашірік мөлшері мен pH деңгейін, топырақтың ең кең таралған ластаушы заты – ауыр металдардың құрамын анықтау бойынша жүргізілген зерттеулердің нәтижелері ұсынылады. Ауыр металдардың жалпы құрамы мен жылжымалы түрлері туралы алынған мәліметтер осы ластаушы заттар үшін ШРК деңгейінен аспайтындығын көрсетеді.

Негізгі сөздер: табиғатты қорғау, техногендік әсер, экологиялық бағалау, қарашірік мөлшері, pH деңгейі, ауыр металдар.

Кіріспе. Қолданыстағы табиғатты қорғау заңнамасында жарияланған қоршаған ортаны қорғау саласындағы тиімді саясат табиғи обьектілердің сипаттамасы және алынған деректерді кешенді бағалау туралы толық ақпарат негізінде ғана жүзеге асырылуы мүмкін. Барлық табиғи ортаның жағдайын бағалаудың маңыздылығын мойынданай отырып, сонымен бірге өзінің ерекшелігіне байланысты ластаушы заттарды сақтайтын және экожүйенің теріс антропогендік әсерге тұрақтылығын анықтайтын орта болып табылатын топырақ жағдайын бағалаудың өзектілігін ерекше атап өткен жөн. Оның рөлі ұзак уақыт бойы бағаланбады, бұл топырақтың экологиялық мониторингіне де, осы саладағы нормалу жүйесіне де тиісті көніл бөлінбеуінен көрінді.

Осыған байланысты мынадай бағыттар бойынша топырақтың жай-күйіне неғұрлым терең талдау жүргізу қажеттілігі туындаиды: 1) қарқынды антропогендік жүктеме жағдайында базалық топырақ сипаттамаларын зерделеу; 2) адам шаруашылық қызметінің әртүрлігін топырақ жамылғысының ластануына, оның ішінде өнеркәсіптік аймақтар ауамағында әсер ету ерекшелігі мен дәрежесін бағалау.

Зерттеудің мақсаты Батыс Қазақстан облысы Ақсай қаласының қарқынды өнеркәсіптік аймақтарының мысалында техногендік ластанған топырақтарының ерекшеліктерін экологиялық бағалау және аумактағы топырақтардың ауыр металдармен ластануын зерттеп, өнеркәсіптің әсер ету аймағында топырақты ұтымды пайдалану жолдарын жоспарлау.

Қарқынды техногендік әсері бар аумактардың топырақ жамылғысының өзгеруі ғылыми және практикалық түрғыдан да үлкен қызығушылық тудырады. Көптеген зерттеушілер В. В. Докучаев анықтаған топырақ түзудің негізгі факторларының мұндай аймақтардағы әсері антропогенез процестерімен толықтырылатынына назар аудару қажет деп санайды, бұл олардың табиғи қасиеттері бойынша айтартылған ерекшеленетін техногендік әсер салдарынан өзгерген топырақтың қалыптасуын анықтайды [1]. Өнеркәсіп ауамағындағы топырақта, табиғи аналогтардан айырмашылығы, урбанизацияланған экожүйелерге тән жаңа компоненттер, жаңа энергетикалық және заттық байланыстар пайда болады [2]. Антропогендік өзгеріске ұшыраған топырақ урбоэкожүйелердің маңызды құрамдас бөлігі

болып табылатындырын және сол сияқты қазіргі уақытта жарияланған ғылыми әдебиеттерде де, қолданыстағы экологиялық заңнамада да адамның өмір сүру ортасының сапасына айтарлықтай әсер ететінін ескеру қажет.

Топырақ табиги факторлар кешенінде өзара әрекеттесуінің өнімі бола отырып, ландшафт байланыстарының қалыптасуы мен жұмысына қатысады, заттардың, соның ішінде ластаушы заттардың негізгі легін өткізеді немесе ұстап қалады [3]. Халық көп шоғырланған индустріалды дамыған аудандарда ластаушы заттар легі жоғары ұйтты элементтер мен қосылыстардан тұрады және олар экотоксиканттар қатарына кіретін табиги және антропогендік қайта құрылған экожүйелердің құрылымы мен жұмыс істеу ерекшеліктеріне теріс әсер етеді.

Осыған байланысты қарқынды техногендік әсерге ұшырайтын топырақтың өзгеру ерекшеліктерін зерделеу адамның шаруашылық қызметінің жекелеген және кешенді әсерінің жүктеме шегі мен салдарын бағалау үшін қажет болып табылады. Оның нәтижелері табигат пайдалануды оңтайландыру жөнінде басқарушылық шешімдер қабылдау үшін негіз бола алады.

Адам қызметінің әсерінен топырақ жамылғысының өзгеру ерекшеліктерін қарастыру кезінде ластаушы заттардың топыраққа түсінің сапалық құрамы мен қарқындылығына көп көңіл бөлінеді. Әдетте, зерттеу барысында ең қауіпті ауыр металдарға (сынап (Hg), қорғасын (Pb), кадмий (Cd), мыс (Cu), никель (Ni), мырыш (Zn), хром (Cr) және басқа да элементтер) назар аударылады.

Топырақты ауыр металдармен ластаудың негізгі өнеркәсіптік көздері ретінде зерттеушілер тау-кен және metallургия өнеркәсіптері (шамамен 35%), жылу электр станциялары (27%), мұнай өндірісінде (15%), құрылым өнеркәсібі (8% дейін) және көлік (13%) деп атайды [4].

Коршаган ортаға түсетін техногендік заттар әсер ету түрлері бойынша екі топқа бөлінеді: биохимиялық белсенді және педохимиялық белсенді. Біріншісі, ең алдымен, тірі организмдерге әсер етеді. Биохимиялық белсенді заттарға экономикалық қызметтің әр түріне тән толтырғыштар жатады: ауыр металдар, түрлі ксенобиотиктер, мұнай көмірсутектері және т.б. Техногенді шығарындыларда педохимиялық белсенді заттар айтарлықтай басым және олар топырақтың физика-химиялық және тотығу қасиеттеріне әсер етеді. Оларға темір, кальций және магний карбонаттары, минералды қышқылдар жатады. Бұл заттар белгілі бір концентрацияға жеткенде тірі организмдер үшін де улы болады, бірақ олар топырақтың негізгі қасиеттеріне әсері анағұрлым көбірек.

Ландшафттардың жағдайын экологиялық бағалау кезінде бірінші топтағы заттарға назар аударылады, ейткені олардың организмдерге әсері айқын. Топырақтың ластануын экологиялық және экологиялық-экономикалық бағалау (атап айтқанда, ауыр металдар) соңғы онжылдық бойы ең маңызды проблемалардың бірі болды. Бұл коршаган орта обьектілерінде ауыр металдардың ұйтты концентрациясының таралуымен, сондай-ақ олардың қолайсыз әсерлерінің кең спектрімен байланысты. Бұл ауыр металлдарды жою немесе олардың мөлшерін азайту үшін тиісті шараларды әзірлеуді қажет етеді. Мұндай іс-шараларға экономикалық инвестициялардың тиімділігі, әдетте, топырақтың ластану деңгейін және осы ластанудан келтірілген зиянның мөлшерін бағалауға негізделген. Қазіргі уақытта топырақтың ластану дәрежесін бағалау үшін бірқатар критерийлер пайдаланылады. Бұл ретте олардың бір бөлігі стандартты (нормативтік және нормативтік-әдістемелік құжаттарға енгізілген), ал екінші бөлігі баламалы (ғылыми жарияланымдарда жекелеген ғалымдар немесе зерттеу топтары ұсынатын) өлшемдерге жатады. Бұдан басқа, бағалау жұмыстарында пайдаланылатын барлық көрсеткіштерді тікелей (объектідегі ластаушы заттардың құрамын сипаттайтын) және жанама (токсиканттардың құрамына айтарлықтай тәуелді көрсеткіштерді ескеретін, мысалы, топырақтың биологиялық белсенділігі) деп бөлуге болады. Соңғы топқа келетін болсақ, кейде эксперименттік және ақпараттық базаның нашар дамуына байланысты осы критерийлер бойынша бағалау қындық тудырады.

Урбанизацияланған ландшафттардағы геохимиялық жағдай топырактағы, жер үсті және жер асты суларындағы, сондай-ақ түбіндегі шөгінділердегі ауыр металдардың концентрациясының өзгеруіне байланысты айтарлықтай өзгереді. Бұл элементтердің жинақталуының контрасты мен ұзақтығы олардың көші-қон сипатын тікелей және жанама түрде анықтайтын табиғи және техногендік факторлармен анықталады. Осы зерттеудің нысаны болып табылатын аумақта металдармен ластану аймақтарының географиялық орналасуына, сондай-ақ анықталған функционалдық пайдаланудың түрлері бар участкерге назар аударылды. Өнеркәсіп аумағында металдардың таралуына себеп болатын табиғи факторларға топырақтың ерекшеліктері (қарашибір мөлшері, қоршаған орта реакциясы және т.б.), өсімдік жамылғысы, ауа қозғалысының сипаты, рельеф жатады. Сонымен бірге, қала шегіндегі рельефтің көрсетілген ландшафтық сипаттамалары едәуір дәрежеде өзгергенін және оларды табиғи факторларға тек белгілі бір шарттылықпен жатқызуға болатындығын ескеру қажет.

Қоршаған ортаны қорғау және оларды пайдалану кезінде антропогендік және техногендік әсерлерде туындаған деградацияланған топырақтың құнарлылығын қалпына келтіру проблемасы өзекті болып табылады. Деградацияланған топырақтың құнарлылығын сақтау үшін мұнай-газ конденсаты кен орындарының аумағында адам өзінің шаруашылық қызметімен келтіретін залалды барынша азайту қажет.

Облыс топырақтарындағы мұнай өнімдері мен ауыр металдардың құрамы тұтастай алғанда шекті рұқсат етілген шоғырланудан аспайды, алайда мұнай-газ өзірлемелерінің өнеркәсіптік аймағының табиғи морфологиялық бейінінің, химиялық және биологиялық қасиеттерінің өзгеруімен топырақ жамылғысының генетикалық қабаттарының тұтастығының бұзылуы байқалады. Кен орнының пайдаланылуына қарай бұлінген жерлердің ауданы жыл сайын ұлғайып келеді.

Мұнай-газ конденсатты кен орындары мен кен орнына іргелес жатқан аумақтардың техногендік әсерлер салдарынан бұзылған жерлерінің құнарлылығын қалпына келтіру мәселесі өңірдің өзекті мәселелерінің бірі болып табылады. Техногендік-бұзылған жерлердің құнарлылығын қалпына келтіру тәсілдерін таңдау ластанудың түріне, сипатына және ауқымына (ластану тереңдігі мен ауданы, топырақтағы немесе топырақтағы шоғырлану, ескіру-ластау және т. б.), табиғи, топырақ-өсімдік және техногендік жағдайларға, қалпына келтірілетін топырақтың немесе топырақ грунтының типіне, құрамы мен қасиеттеріне, жер пайдалану сипатына, деградация дәрежесі және аумақтың экологиялық жағдайына байланысты таңдалады [5-7].

«Топырақтың маңызды қасиеті – құнарлылық. Топырақтың табиғи құнарлылығы оның қасиеттері мен режимдерінің жиынтығымен, топырақ дамитын экологиялық жағдайлардың барлық кешенімен анықталады» [8]. Сондықтан топырақты құнарлылығы бойынша бағалау – маңызды міндеттердің бірі. Ол топырақ пен ауыл шаруашылығы өсімдіктерінің арасындағы күрделі және әр түрлі байланыстарды талдау негізінде шешілуі мүмкін.

Зерттеу әдістері. Қазіргі уақытта биосфераның «ауыр металдар» деген жалпы атауын алған поллютанттар тобымен ластануы ерекше маңызға ие болды. Ауыр металдарға Д.И.Менделеевтің периодтық жүйенің 40 - тан астам атомдық салмағы 50 а.е.м. жоғары химиялық элементтері жатады. Кейде ауыр металдар деп тығыздығы 7-8мың. кг/м³ - тан асатын элементтерді атайды (асыл және сирек металлдардан басқалары). Аэрозоль түрінде атмосфераға түсетін ауыр металдардың техногендік шығарындыларының бір бөлігі едәуір қашықтықта таралады және жаһандық ластануды тудырады. Гидрохимиялық құрамы бар басқа бөлігі ағынсыз су қоймаларына түсіп, сулар мен су түбіндегі шөгінділерде жиналып, екінші реттік ластану көзі болуы мүмкін. Шығарындылардың негізгі массасы ластану көздеріне тікелей жақын жерде тұнады – бұл көбінесе өнеркәсіптік кәсіпорындарда байқалады. Ауыр металлдармен (корғасын, кадмий және мырыш) қатты ластануы автомагистраль маңында табылды.

И. В. Тюрин әдісі бойынша гумус мөлшерін анықтау барысында алынған көрсеткіштерді әдістемелік нұсқауда көрсетілген теңдеуінің көмегімен «бос» талдау кезінде Мордың тұзы ерітіндісінің миллилитрінің санын, гумус тотығуынан кейін кері титрлеу кезінде, Мор тұзының ерітіндісінің нормасын 0,2 н., талдау үшін алынған топырақтың ілуі (өлшем), г. құрғақ топырақтағы гумустың % - дық мөлшері, топырақ су сіріндісінің pH деңгейін pHметр құрылғысының көмегімен анықталды [9-10].

Топырақты талдау кезінде атомдық-абсорбциялық спектрометрия әдісі қолданылды, бұл топырақтағы улы металлдардың шекті рұқсат етілген шоғырлануының (ШРК) жоғары мәндерімен анықталды [11].

Зерттеу нәтижелері. Талдау нәтижелері бойынша топырақ жамылғысындағы гумустың %-дық мөлшері беткі қабатта 3% құраса, топырақтың 5-20 см қабатында 2,52% құрады (Кесте 1). Бұл зерттелген аумақтың топырақтағы гумус деңгейімен мәндес келіп, топырақ қабаттарына терендеуіне байланысты гумус мөлшерінің бүрін сарапталған мағлұматтарға сәйкес азаятындығын көрсетті.

1-кесте. В. Тюрин әдісі бойынша гумус мөлшерін анықтау барысында алынған сандық көрсеткіштер

Топырақ сынамасы	Гумус мөлшері, %
0 - 5 см	3,0
5 - 20 см	2,52

Зерттеу жұмысы барысында топырақтың қышқылдылық деңгейін анықтау жүргізілді (Кесте 2). Талданған топырақ сынамаларындағы (беткі 0-5 см және 5-20 см қабаттарындағы) pH деңгейі (7,57-7,93) әлсіз сілтілі топырақты көрсетті. Топырақ қабаттарының pH деңгейі қарашірік мөлшерінің көрсеткіштері сынды зерттеу жүргізілген аймақ топырақтарының сипаттамасына сәйкес екендігі анықталды.

2-кесте. Топырақтың қышқылдылық деңгейі

Топырақ қабаты	pH деңгейі	Топырақ қышқылдылығы
0 - 5 см	7,93	Әлсіз сілтілі
5 - 20 см	7,57	Әлсіз сілтілі

Топырақтағы ауыр металдардың құрамын анықтау барысында талдауға қажетті реактивтер мен олардың қосындылары дайындалды. Топырақтың су сіріндісіне анықталатын ауыр металлдардың (Co, Cu, Cd, Ni, Zn, Pb) дайын концентрацияларын қолдану арқылы атомды-спектрометр құрылғысымен анықталды.

Зерттеу барысында анықталған ауыр металлдардың концентрациясының мөлшері 1-ші диаграммада көлтірілген. Ауыр металлдардың топырақтағы жалпы құрамы 1-ші нұсқа бойынша (топырақтың беткі қабатында 0-5 см) 0,224 мг/кг мен 9,2 мг/кг аралығын көрсетті. Ең төменгі көрсеткіш – кадмий (0,224 мг/кг) металы бойынша анықталса, ең жоғары көрсеткіш – никель (9,2 мг/кг) болды.

Ал 2-ші нұсқа бойынша (топырақ жамылғысының 5-25 см қабатында) ауыр металлдардың мөлшері 0,216 мг/кг-ден 8,8 мг/кг аралығын құрайтындығы бақыланды. Бұл нұсқада ең төмен көрсеткіш – кадмий (0,216 мг/кг) металлы бойынша болса, ең жоғары көрсеткіш – никель (8,8 мг/кг) металлы құрады.

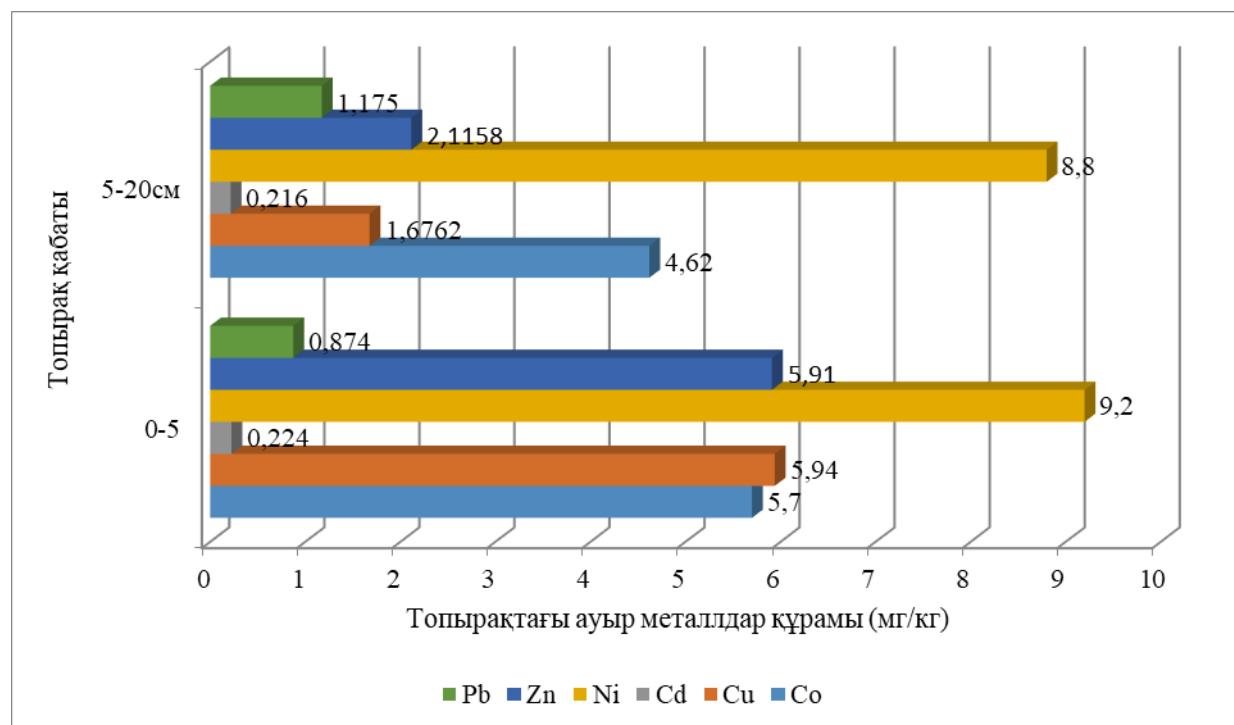


Диаграмма 1. Топырақтағы ауыр металлдардың жалпы құрамы

Жүргізілген зерттеу жұмысы барысында ауыр металлдардың жалпы құрамы топырақ жамылғысының беткі қабатында кадмий – 0,224 мг/кг, қорғасын – 0,874 мг/кг, кобальт – 5,7 мг/кг, мырыш – 5,910 мг/кг, мыс – 5,94 мг/кг және никель – 9,2 мг/кг құрады. Ал топырақ жамылғысының 5-25 см қабатында ауыр металлдардың жалпы мөлшері беткі қабатпен салыстырғанда кадмий – 0,01 мг/кг-ге, қорғасын – 0,01 мг/кг-ге, кобальт – 1,08 мг/кг-ге, мырыш – 2,8 есе, мыс – 3,5 есе, және никель – 0,4 мг/кг-ге кем екендігі анықталды. Жалпы 1-ші диаграммадағы мәліметтерге жүгінсек, топырақтағы ауыр металлдардың жалпы құрамының жоғары концентрациясы топырақтың беткі қабатында шоғырланғанын көруге болады.

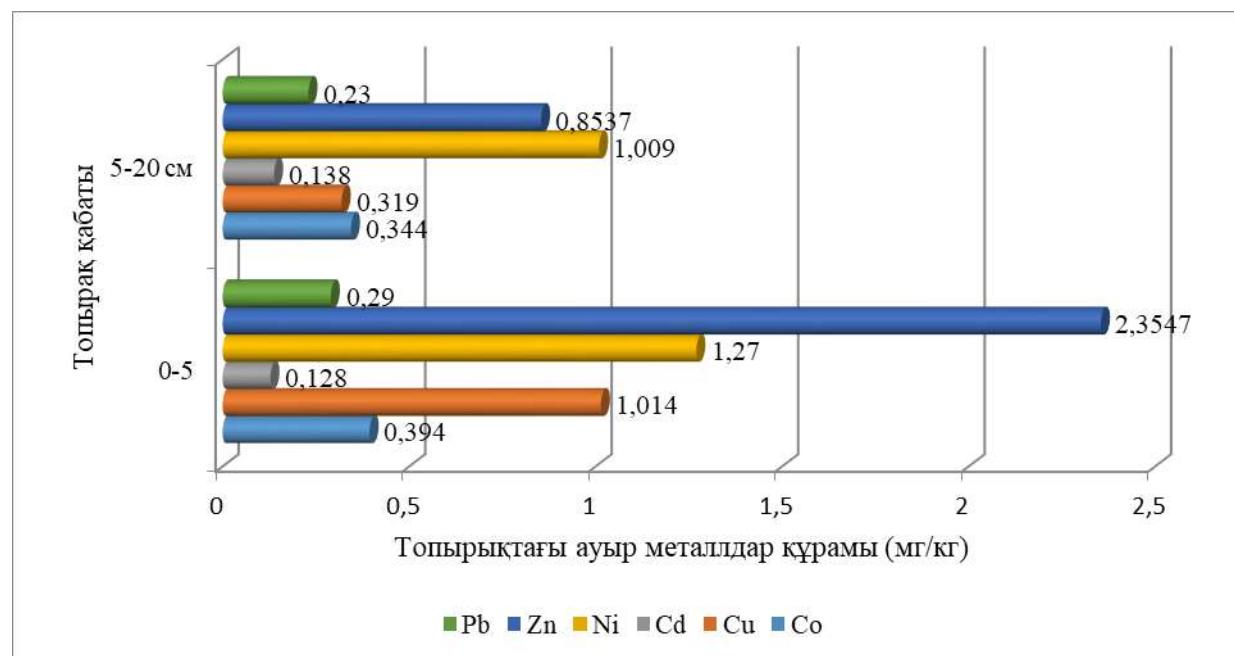


Диаграмма 2. Топырақтағы ауыр металлдардың жылжымалы құрамы

Ауыр металлдардың жылжымалы түрлері топырактың беткі қабатында 0,128 мг/кг (Cd) мен 2,3547 мг/кг (Zn) аралығын құрады (диаграмма 2). Бұл аралықта қорғасын – 0,29 мг/кг, кобальт – 0,394 мг/кг, мыс – 1,014 мг/кг, никель 1,270 мг/кг екендігі анықталды. Ал топырақ жамылғысының 5-20 см қабаттың қарастыратын болсақ, ондағы ауыр металлдардың жылжымалы құрамының көрсеткіштер тізбегі кадмий (0,138 мг/кг) – қорғасын (0,23 мг/кг) – мыс (0,319 мг/кг) – кобальт (0,344 мг/кг) – мырыш (0,8537 мг/кг) – никель (1,009 мг/кг) болып анықталды. Топырактағы ауыр металлдардың жылжымалы құрамының мөлшері жалпы құрамға сәйкес топырақтың беті қабатында шоғырлану түрақтылығымен сипатталды.

Топырактағы ауыр металлдардың жалпы құрамының шекті рауалды концентрациялары: кадмий – 2 мг/кг, кобальт – 15 мг/кг, қорғасын – 30 мг/кг, мыс – 55 мг/кг, никель – 85 мг/кг, мырыш – 100 мг/кг. Жылжымалы түрлерінің шекті көрсеткіштері кадмий үшін – 0,5 мг/кг, мыс – 3 мг/кг, никель – 4 мг/кг, кобальт – 5 мг/кг, қорғасын – 6 мг/кг, мырыш – 23 кг/кг құрайды. Жүргізілген зерттеу жұмысы бойынша талданған топырак сынамаларында ауыр металлдардың жалпы құрамы мен жылжымалы түрлері шекті рауалды концентрациядан аспайтындығы анықталды.

Қорытынды. Зерттеу барысында Батыс Қазақстан облысы Ақсай қаласының өндірістік аймақтарының топырағына экологиялық баға беру, оның ішінде топырактағы қарашіріктің %-дық мөлшері, рН деңгейі және ауыр металлдардың жалпы құрамы мен жылжымалы түрлері зерттелді. Зерттеу нәтижелері бойынша өндіріс аумағындағы топырақтың ауыр металлдармен ластану деңгейі шекті рұқсат етілген концентрациядан аспайтыны, көп мөлшерде таралған ауыр металлдың түрі мырыш (Zn) және аз мөлшерде таралғаны камдий (Cd) екендігі анықталды.

ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Мантаев Х.З., Гаркаев Р.А. Антропогенездің топырақ түзілу процестеріне әсері // Қазіргі ғылым мен практика мәселелері. В. И. Вернадский. университеті. – Т. 2. – 2008. – № 2 (12). – Б. 186 – 193.
- [2] Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е. Қала топырақтарының қорғасынмен ластану динамикасы // Топырактану. – 2007. – №8. – Б. 984 – 997.
- [3] Добровольский Г.В. Биосфера дағы және адам өміріндегі топырақтың экологиялық маңызы // Экологиялық топырактану институтының еңбектері. – 2007. – № 8 – Б. 5 – 23.
- [4] Небольсин А.Н., Небольсина З.П., Алексеев Ю.В., Яковleva L.B. Ауыр металдармен ластанған топырақты әктеу // Агрохимия. – №3. – 2004. – Б. 48 – 54.
- [5] Исмаилов Н.М., Пиковский Ю.И. Мұнаймен ластанған жерлерді қалпына келтіру әдістерінің қазіргі жағдайы // Мұнаймен ластанған топырақ экожүйелерін қалпына келтіру. – М.:Наука. – 1988. – Б.222-230.
- [6] Пиковский Ю.Г., Геннадиев А.Н., Чернянский С.С., Сахаров Г.Н. Топырақтың тозуы, қалпына келуі және қорғалуы. // Топырактану. – 2003. – №9. – Б.1132 – 1140.
- [7] Фаизов К.Ш., Джусипбеков У.Ж., Абиева Л., Раимжанова М.М., Назарова Е.А. Мұнаймен ластанған топырақты оңалту туралы // Мұнай және газ. – 2003. – № 2. – Б.119 – 126.
- [8] Федорец Н. Г., Медведева М. В. Урбандалған аумақтардың топырақтарын зерттеу әдістемесі. - Петр заводск: Карелия РFA ғылыми орталығы, 2009. – 84 с.
- [9] КР СТ 26213-84 Топырак. Тюрин әдісі бойынша қарашірікті анықтау.
- [10] КР СТ ИСО 10390-2007 «Топырак сапасы. рН анықтау»
- [11] Топырак, топырақ сынамаларындағы және түптік шөгінділердегі элементтердің салмақтық үлесін атомдық-эмиссиялық және атомдық-абсорбциялық спектрометрия әдістерімен өлшеуді орындау әдістемесі - М-МВИ-80-2008. – Санкт-Петербург, 2008.

REFERENCES

- [1] Мантаев Х.З., Гаркаев Р.А. Антропогенездің топырақ түзілу процестеріне әсері // Қазіргі ғылым мен практика мәселелері. В. И. Вернадский. университеті. – Т. 2. – 2008. – № 2 (12). – Б. 186 – 193.
- [2] Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е. Қала топырақтарының қорғасынмен ластану динамикасы // Топырактану. – 2007. – №8. – Б. 984 – 997.

- [3] Добровольский Г.В. Биосфера дағы және адам өміріндегі топырақтың экологиялық маңызы // Экологиялық топырақтану институтының еңбектері. – 2007. – № 8 – Б. 5 – 23.
- [4] Небольсин А.Н., Небольсина З.П., Алексеев Ю.В., Яковлева Л.В. Ауыр металдармен ластанған топырақтың әктеу // Агрохимия. – №3. – 2004. – Б. 48 – 54.
- [5] Исмаилов Н.М., Пиковский Ю.И. Мұнаймен ластанған жерлердің қалпына келтіру әдістерінің қазіргі жағдайы // Мұнаймен ластанған топырақ экожүйелерін қалпына келтіру. – М.:Наука. – 1988. – Б.222-230.
- [6] Пиковский Ю.Г., Геннадиев А.Н., Чернянский С.С., Сахаров Г.Н. Топырақтың тозуы, қалпына келуі және қорғалуы. // Топырақтану. – 2003. – №9. – Б.1132 – 1140.
- [7] Фаизов К.Ш., Джусипбеков У.Ж., Абиева Л., Раимжанова М.М., Назарова Е.А. Мұнаймен ластанған топырақтың оңалту туралы // Мұнай және газ. – 2003. – № 2. – Б.119 – 126.
- [8] Федорец Н. Г., Медведева М. В. Урбандалған аумақтардың топырақтарын зерттеу әдістемесі. - Петр заводск: Карелия РВА ғылыми орталығы, 2009. – 84 с.
- [9] КР СТ 26213-84 Топырақ. Тюрин әдісі бойынша қарашіркіт анықтау.
- [10] КР СТ ИСО 10390-2007 «Топырақ сапасы. pH анықтау»
- [11] Топырақ, топырақ сынамаларындағы және түптік шөгінділердегі элементтердің салмақтық үлесін атомдық-эмиссиялық және атомдық-абсорбциялық спектрометрия әдістерімен өлшеуді орындау әдістемесі - М-МВИ-80-2008. – Санкт-Петербург, 2008

Б.Е. Губашева, М.А. Хасенова*

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им.Жангир хана, Орал, Казахстан

*e-mail: khassen.ma@mail.ru

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ НА ТЕРРИТОРИИ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация. В статье отражены данные по изучению изменений почвенного покрова под влиянием деятельности человека. Приведены результаты исследований по определению содержания гумуса и уровня pH, содержания тяжелых металлов в техногенно нарушенных почвах на прилегающей территории предприятия по переработке природного газа. Полученные данные по содержанию валовых и подвижных форм тяжелых металлов свидетельствует о не превышении уровня ПДК по этим загрязнителям.

Ключевые слова: охрана природы, техногенное воздействие, экологическая оценка, содержание гумуса, уровень pH, тяжелые металлы.

B.E. Gubasheva, M.A. Khassenova*

West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan, Oral, Kazakhstan

*e-mail: khassen.ma@mail.ru

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF SOILS IN THE TERRITORY OF PRODUCTION IMPACT

Abstract. The article presents data on the study of changes in soil cover under the influence of human activity. The results of the conducted studies on the determination of the humus content and pH level, the content of heavy metals in technogenically disturbed soils in the adjacent territory of the natural gas processing enterprise are presented. The obtained data on the content of gross and mobile forms of heavy metals indicates that the maximum permissible concentration level for these pollutants is not exceeded.

Key words: nature protection, technogenic impact, environmental assessment, humus content, pH level, heavy metals.

¹Ж. Нукарбекова, ¹Б. Мухаметхан, ¹А. Мажит*, ²Р. Шульц

¹Satbayev University, Алматы, Казахстан

²Мичиганский технологический университет, США

*e-mail:altynay.mazhit@bk.ru

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ КАРТ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. Казахстан обладает минерально-сырьевой базой мирового масштаба, где особое место отводится открытому способу разработки месторождений твердых полезных ископаемых. Современные карьеры характеризуются большим многообразием составляющих их иерархически расположенных структурно-функциональных подсистем, агрегатов и объектов различной природы, многофакторной, многоканальной взаимосвязью между ними и с компонентами внешней среды. Поэтому обеспечение устойчивости бортов карьера является сложной проблемой. С целью обеспечения безопасного освоения месторождений полезных ископаемых, необходимо создать устойчивую прогнозную геомеханическую модель с использованием современных вычислительных технологий. В статье рассмотрена методика создания карты устойчивости бортов карьеров с использованием ГИС технологий. Даны представления о технологии создания карты устойчивости и возможность ее адаптации для имитации разработки карьеров рудных месторождений. Полученные результаты обеспечивают промышленную и экологическую безопасность освоения недр.

Ключевые слова: рудные месторождения, карьер, устойчивость бортов, физико-механические свойства руд и пород, карта устойчивости, 3D-моделирование.

Введение. Существенную роль в развитии экономики Казахстана играет горно-металлургическая отрасль промышленности. Особую роль при этом отводится открытому способу производства как наиболее производительному и эффективному. Характерной особенностью открытой разработки месторождений является возможность вовлечения в отработку глубоко залегающих месторождений глубиной до 600-700 метров и сроками службы 35-60 лет со сложными горно-геологическими условиями их строительства и эксплуатации. При этом большое значение приобретает проблема обеспечения длительной устойчивости бортов на граничных контурах и временно нерабочих бортов, которые формируются как топографические поверхности, ограничивающие целики со стороны выработанного пространства при регулировании режима горных работ и консервации в них определенных объемов горной массы.

Основное содержание работы. В мире добыча полезных ископаемых производится в основном открытым способом, на долю которого приходится 75% извлекаемой из недр минеральной продукции, и известно, что этот уровень будет поддерживаться и в будущем. В процессе развития открытого способа добычи полезного ископаемого наблюдается увеличение глубины, объемов и производственных мощностей карьеров.

Деформации карьерных откосов наносят значительный материальный ущерб горному предприятию, нарушая правильное и безопасное ведение горных работ, вызывая потери полезного ископаемого, которые становятся особо значимыми в условиях рыночной экономики. Поэтому проблема обеспечения устойчивости карьерных откосов является одной из важнейших в горном деле.

Обязательным условием для безопасного ведения горных работ при отработке месторождений полезных ископаемых открытым способом является обеспечение устойчивости бортов карьеров. Расчет устойчивости осуществляется путем численного решения уравнений математической физики, описывающей геомеханические процессы геологической среды [1, 2].

Исходя из задач и функций управления устойчивостью породных массивов, особенно карьерных откосов при разработке месторождений полезных ископаемых, характеризуемых разнообразием и изменчивостью геологического строения, необходимо постоянно проводить исследования, направленные на получение достоверной информации о структурных особенностях прибортового массива, его прочностных свойствах, гидрогеологических условиях и т.д. Такие исследования должны проводиться на всех этапах формирования карьерных откосов (строительство карьера, освоения проектной мощности, начало оформления постоянных бортов карьера на предельном контуре, доработка карьера) в рамках единой системы.

Критерием правильности ранее принятых технологических решений по параметрам карьерных откосов является маркшейдерский инструментальный контроль за состоянием бортов карьеров и отвалов, поэтому его также необходимо включить в единую систему маркшейдерских наблюдений и исследований.

Инструментальные маркшейдерские наблюдения являются основным средством получения информации о деформациях бортов карьеров и отвалов и наиболее надежной основой для прогноза их устойчивости. Рекомендации по созданию наблюдательных станций и методикам наблюдений изложены в разработанной ВНИМИ «Инструкции по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости» [3].

Анализ методов инструментальных наблюдений за состоянием карьерных откосов показывает необходимость их дальнейшего совершенствования с использованием современных геодезических средств на примере лазерного сканирования, электронной тахеометрии, фотограмметрии, глобальных спутниковых систем, современных информационных технологий и радарной интерферометрии.

Широкое внедрение в практику маркшейдерско-геодезических работ электронных тахеометров и спутниковых GPS приборов (рис.1), дает уникальную возможность быстро и точно определить параметры сдвига массива горных пород и вести регулярные, непрерывные наблюдения за изменением этих параметров во времени [4].



Рисунок 1. GPS наблюдения на карьере

Среди современных методов маркшейдерских наблюдений широкое распространение получил метод лазерного сканирования, здесь можно выделить: наземное лазерное и воздушное сканирование. Лазерное сканирование позволяет создать цифровую модель всего окружающего пространства, представив его набором точек с пространственными координатами. Для наблюдений за деформациями рекомендуется использовать архитектурный сканер типа Leica HDS3000 с точностью сканирования 6 мм. наблюдений можно совместно использовать GPS-системы и 3D – сканер [5].

Параллельно инструментальными наблюдениями проводятся расчеты для построения трехмерной модели карьера с оценкой устойчивости, отрисовки горизонтов и нанесения ситуационного плана. Создание карты устойчивости карьера осуществляется в программном комплексе, обладающим возможностью работы с 3D компьютерными объектами и имеющим возможности графического представления результатов интерполяции. Такой технологией является программа «Борт», разработанной ВНИИцветмет [6].

При расчете устойчивости карьера нами использован веер сечений с постоянным углом поворота относительно друг друга для получения равномерной картины по всему карьеру. Сечения намечались по возможности вкrest простирания борта. Определенные для расчета в программном комплексе «Борт» сечения показаны на рис.2.

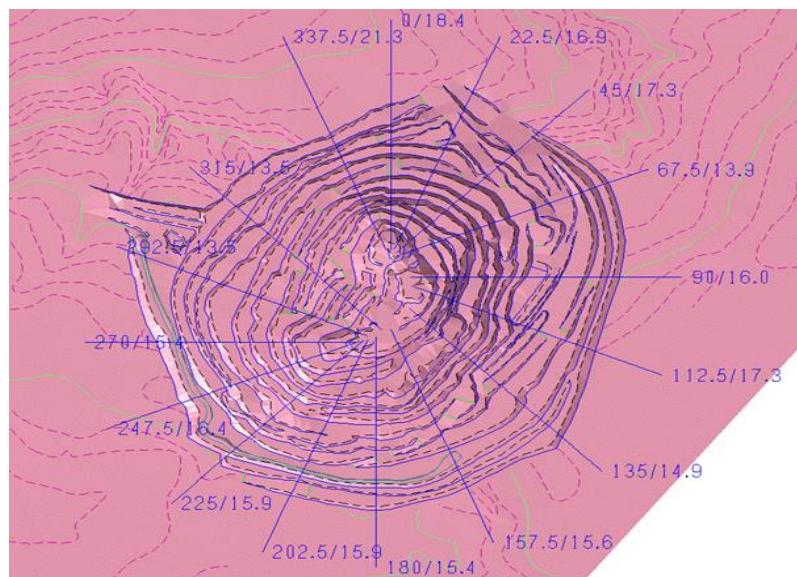


Рисунок 2. Расчетные сечения для построения карты устойчивости

Для каждого сечения через дробь указаны азимут направления сечения относительно dna карьера и генеральный угол борта в соответствующем сечении. Далее эти сечения последовательно загружались в программный комплекс, где выполнялась их обработка. При проведении расчетов использовались результаты исследований физико-механических свойств (ФМС) пород и руды Акжалского карьера, представленные в таблицах 1 и 2, с учетом структурного ослабления массива [4, 5].

Таблица 1. Расчетные параметры для оценки устойчивости борта карьера

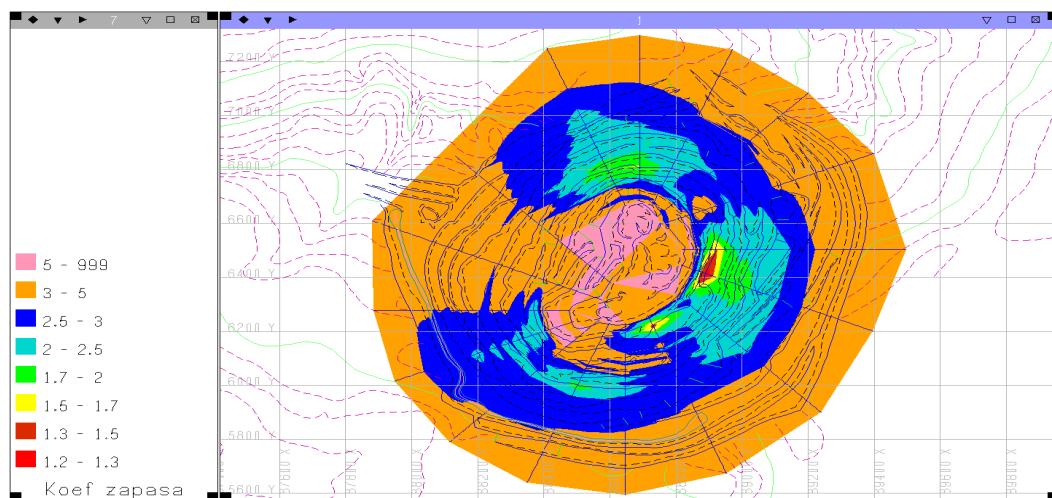
Разновидность пород и руд	Плотность $\gamma \times 10^3$, кгс/м ³	Угол внутр. трения φ , град.	Сцепление в образце C , МПа	Сцепление по поверхностям ослабления k' , тс/м ²	Коэффициент структурного ослабления λ	Сцепление в массиве C_m , кгс/см ²
Массивные известняки	2,81	36°	16	7	0,0409	7,209
Порфириты	2,78	37°	22	7	0,0276	6,757
Руда	4,73	37°	22	7	0,0276	6,757
Средневзвешенные расчетные параметры	3,44	36,7°				6,91

Для каждого сечения результаты расчета выводились в графическом и текстовом виде. Итоговая информация по расчетным сечениям сведена в таблицу 2.

Таблица 2. Сводная информация по расчету устойчивости сечений борта карьера

№ п/п	Положение расчетного сечения и его азимут	Генеральный угол наклона борта карьера в сечении	Линия сдвижения с минимальным коэффициентом запаса устойчивости		Минимальный коэффициент запаса устойчивости
			от гор., м	до гор., м	
1	C; 0°	18,4°	+ 70	+ 131	1,686
2	CB; 22,5°	16,9°	+ 42	+ 145	2,179
3	CB; 45°	17,3°	+ 70	+ 88	1,940
4	CB; 67,5°	13,9°	+ 71	+ 87	2,353
5	B; 90°	16,0°	+ 59	+ 116	1,501
6	ЮВ; 12,5°	17,3°	+ 59	+ 115	1,247
7	ЮВ; 135°	14,9°	+ 59	+ 170	2,050
8	ЮВ; 157,5°	15,6°	+ 57	+ 105	1,433
9	Ю; 180°	15,4°	+ 58	+ 90	2,166
10	ЮЗ; 202,5°	15,9°	+ 100	+ 162	1,891
11	ЮЗ; 225°	15,9°	+ 85	+ 150	2,431
12	ЮЗ; 247,5°	16,4°	+ 70	+ 100	2,032
13	З; 270°	15,4°	+ 70	+ 100	2,050
14	СЗ; 292,5°	13,5°	+ 116	+ 145	3,003
15	СЗ; 315°	13,5°	+ 130	+ 160	2,781
16	СЗ; 337,5°	21,3°	+ 72	+ 132	1,712

Далее эти сечения последовательно загружались в программный комплекс «БОРТ», где выполнялась их обработка. Результаты расчета программного комплекса «Борт» по всем сечениям карьера экспортируются в геоинформационную систему Surgas. Полученная объединенная модель карьера с результатами расчета в программном комплексе «Борт» представлена на рисунке 3.



Анализ результатов и карта устойчивости карьера показывает, что по состоянию на 01.09.2019 г. борт карьера находился в устойчивом состоянии, что подтверждается отсутствием серьезных обрушений на реальном карьере. Коэффициент запаса по всем рассчитанным сечениям превышает $\eta > 1,3$. Только на юго-восточном борту карьера получено минимальное значение ($\eta = 1,24$) приходится на юго-восточный борт карьера (сечение азимута 112,5°).

Развитием возможностей программного комплекса «Борт» явилась разработка ряда технологий его совместного использования с ГИС Surpas, как для подготовки качественных исходных данных для программного комплекса, так и для групповой обработки результатов расчета по отдельным сечениям.

Подобная работа была выполнена для карьеров АО «ССГПО»: Соколовского, Качарского, Сарбайского, карьера Акжал и карьера Актогай. Для каждого карьера были разработаны две карты устойчивости – для фактического положения горных работ и для проектного контура карьера.

Выводы. Разработанные карты устойчивости позволили выявить потенциально опасные с точки зрения устойчивости зоны карьера и выработать рекомендации по снижению опасности обрушения бортов карьеров. Таким образом, подход к разработке карт устойчивости бортов карьеров в каждом случае индивидуален и зависит от полноты и формы представления исходной информации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Попов И.И. и др. Природные и техногенные основы управления устойчивостью уступов и бортов карьеров / И.И. Попов, Ф.К. Низаметдинов, Р.П. Окатов. – Алматы: Галым, 1997.-215 с.
- [2] Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов, ведущих горные и геологоразведочные работы, 2014.
- [3] Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л.: ВНИМИ, 1972. наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л.: ВНИМИ, 1972.-165 с.
- [4] Нурпеисова М.Б., Кыргизбаева Г.М., Бек А.А. Мониторинг техногенных систем (монография).- Deutschland: LapLambert,, 2016.- 113 с.
- [5] Нукарбекова Ж. Муаметхан Б., Дербисов К. Маркшейдерские наблюдения за устойчивостью бортов карьера//Сабаев чтения -2020-Алматы: КазНИТУ, 2020
- [6] Проходов В.В., Ананин А.И. Карта устойчивости карьера - инструмент для выявления потенциально опасных по устойчивости зон карьеров. Материалы VII Международной конференции в рамках Международной специализированной выставки «MinTech-2013» / Повышение технологического уровня горно-металлургических предприятий на основе инновационных технологий // Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ВНИИцветмет». - Усть-Каменогорск, 23.05.2013. С.- 84-88.

REFERENCES

- [1] Popov I.I. et al. Natural and technogenic foundations for managing the stability of benches and quarry walls / I.I. Popov, F.K. Nizametdinov, R.P. Okatov. - Almaty: Galym, 1997.-215 p.
- [2] Industrial safety regulations for hazardous production facilities engaged in mining and geological exploration, 2014.
- [3] Methodical instructions on definition of angles of inclination of boards, slopes of ledges and dumps of the under construction and operated quarries. – Leningrad: VNIMI, 1972.-165 p.
- [4] Nurpeisova M.B., Kirgizbaeva G.M., Bek A.A. Monitoring of technogenic systems (monograph) . Deutschland: LapLambert,, 2016.- 113 c.
- [5] 5. Nukarbekova Zh. Muametkhan B., Derbisov K. Mine surveying observations of the stability of the pit walls // Sabaev readings -2020-Almaty: KazNRTU, 2020
- [6] Prokhodov V.V., Ananin A.I. map of quarry stability-a tool for identifying potentially hazardous areas of quarry stability. Materials of VII International conference within the international specialized exhibition "MinTech-2013" / Increase of technological level of mining and metallurgical enterprises on the

basis of innovative technologies / / branch of RSE "NC KPMS RK" "VNIIitsvetmet". - Ust-Kamenogorsk, 23.05.2013. – 84-88 p.

¹Ж. Нукарбекова, ¹Б. Мухаметхан, ¹А. Мажит*, ²Р. Шульц

¹Satbayev University, Алматы, Қазақстан

²Мичиган технологиялық университеті, АҚШ

*e-mail:altynay.mazhit@bk.ru

КАРЬЕР БЕТКЕЙЛЕРІ ОРНЫҚТЫЛЫҒЫНЫҢ КАРТАСЫН ГАЖ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ПАЙДАЛАНЫП ЖАСАУДЫҢ ӘДІСТЕМЕСІ

Андратпа. Қазақстан әлемдік деңгейдегі минералды-шикізат базасына ие. Мұнда қатты пайдалы қазбалардың кен орындарын игерудің ашық әдісіне, яғни карьерлерде жоғары қуатты тау-кен технологиялары мен құрал-жабдықтар кешенін құру және ендіруге байланысты ең озық және үнемді әдіс ретінде ерекше орын берілген. Қазіргі кездегі карьерлер өте үлкен көптәрмәкты, иерархиялы орналасқан құрылымдық-функционалдық жүйелерімен сипатталады және бір-бірімен байланысқан әртүрлі табиғи нысандардан, және де сыртқы орта компоненттерден тұрады. Сондықтан да карьер қиябеттерінің орнықтылығын қамтамасыз ету өте құрделі мәселе. Осыған орай, макалада карьер беткейлерінің орнықтылық карталарын ГАЖ технологиясын қолдана отырып жасау әдісі қарастырылған. Карьер беткейлерінің орнықтылық картасын жасаудың технологиясы туралы түсінік берілген және рудалық кенорындары карьерлерін игеру динамикасын имитациялу үшін қолдану мүмкіндігі қарастырылған. Алынған нәтижелер жер қойнауын игерудің өндірістік жән экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.

Негізгі сөздер: рудалық кенорындары, карьер, беткей орнықтылығы, тау жыныстарының физика-механикалық қасиеттері, орнықтылық картасы, 3D-модельдеу.

¹J. Nukarbekova, ¹B. Mukhametkhan, ¹A. Mazhit*, ²R. Shults

¹Satbayev university, Almaty, Kazakhstan

²Michigan technological university, USA

*e-mail:altynay.mazhit@bk.ru

METHODOLOGY OF CREATING BOARD STABILITY MAP CAREERS USING GIS TECHNOLOGIES

Abstract. Kazakhstan possesses a mineral-raw-material base of the world scale. This is the future of its economy and prosperity, almost the only indicator of the diversification of production, the departure from the commodity orientation to the high-tech industry. Therefore, ensuring the stability of the sides of the quarry is a complex problem. In order to ensure the safe development of mineral deposits, it is necessary to create a stable predictive geomechanical model using modern computing technologies. The article discusses the method of creating a map of the stability of the sides of the quarries using GIS technologies. The concept of the technology of creating a stability map and the possibility of its adaptation to simulate the development of open-pit mines of ore deposits are given. The results obtained ensure industrial and environmental safety of subsoil development

Key words: ore deposits, quarry, sidewall stability, physical and mechanical properties of ores and rocks, stability map, 3D modeling.

¹Дай Хуян, ²Б.Т. Анетов

¹Китайский горный университет, Пекин, КНР

²Satbayev University, Алматы, Казахстан

НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ДЕФОРМАЦИЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МЕТРО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГНСС

Аннотация. Выявление современных движений земной коры, деформаций, связанных из-за геологических опасностей или оседанием грунта на строительных площадках, в участках строительство метрополитенов – спасает жизни людей, предотвращает крупные финансовые обязательства и гарантирует отсутствие значительного ущерба в окружающей среде. В настоящее время Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) рассматриваются как один из решений проблем в области мониторинга и предсказывание деформаций зданий и сооружений крупных городах и мегаполисах. Технологии Глобальных навигационных спутниковых систем в последнее время используются для мониторинга деформаций высотных зданий, мостов и дамб для оценки инфраструктуры, и движения земной коры. Новое усовершенствованное приборы навигационных систем, позволяют осуществлять мониторинг с высокой точностью в режиме реального времени и с 24-часовой доступностью.

Ключевые слова: технологии ГНСС, метрополитен, мониторинг деформаций, устройства ГПС.

Введение. Проходка тоннельных выработок при строительстве метрополитена в горных массивах вызывает естественное напряженное состояние равновесия горного массива, вызывает сдвижение пород и, следовательно, здания и сооружения, попадающие в мульду сдвижения и деформируются. При строительстве метрополитенов в условиях плотной городской застройки, особенно в мегаполисах, большое значение с точки зрения сохранности наземных сооружений и подземных коммуникаций, и уменьшения расходов на их усиление имеет правильное прогнозирование сдвижения грунтов.

Существующие регламенты и инструкции по эксплуатации объектов определяют порядок, объём работ и периодичность геодезического мониторинга. Недостатком такого подхода является отсутствие информации о состоянии объекта между периодами проведения мониторинга, что в предельном случае не позволяет отследить быстроразвивающиеся деформационные процессы. В качестве примера можно привести контроль за склоном карьера, деформационные процессы в котором могут развиться за 1-2 часа и привести к его обрушению.

Развитие прецизионных дифференциальных технологий ГНСС дало новый эффективный инструмент для создания на их основе автоматизированных систем непрерывного мониторинга пространственного положения объектов инфраструктуры.

Помимо оперативной информации о текущем пространственном положении контролируемого объекта (его текущем смещении относительно первоначального положения) такая система позволяет оценивать упругость деформаций, наблюдать смещения частей объекта в динамике (суточные, сезонные циклы), производить сравнение с показаниями периодических инструментальных измерений.

Спутниковый навигационный приёмник может быть установлен в любой точке объекта, в которой обеспечивается приемлемая видимость небосвода. Особенностью применения спутниковых технологий является обязательное наличие опорной базовой станции, которая обеспечивает необходимые поправки и позволяет достичь высокой точности спутниковых измерений. Базовая станция может быть локальной (располагаться недалеко от объекта) или сетевой (используется одна, ближайшая к объекту базовая станция из существующей в данном регионе или области сети базовых станций).

Основная часть. При строительстве и технической эксплуатации высотных зданий и потенциально опасных сооружений (мостов, башен, эстакад, плотин) большое значение имеет своевременное получение информации о признаках деформации конструкций, пространственных смещениях их частей относительно проектного положения, или их подвижности. До настоящего времени на конструкции упомянутых выше объектов устанавливались механические приборы.

Недостатком механических приборов является необходимость проведения измерений в ручном режиме с последовательным обходом точек контроля. Для постоянного слежения за состоянием конструкций, а также непрерывной регистрации и хранения полученной информации требуется применение электромеханических и электронных высокоточных и малогабаритных приборов, позволяющих проводить измерения, обработку, передачу данных в автоматизированном режиме и осуществлять их хранение в режиме накопления, формирования банка информации.

Развитие прецизионных дифференциальных технологий ГНСС дало новый эффективный инструмент для создания на их основе автоматизированных систем непрерывного мониторинга пространственного положения объектов инфраструктуры.

Глобальная система позиционирования имеет преимущества перед обычными наземными методами. Видимость между станциями не является строго необходимой, что обеспечивает большую гибкость в выборе местоположения станций, чем при наземных геодезических съемках. Измерения могут проводиться ночью или днем, при различных погодных условиях, что делает GPS- измерения экономичными, особенно когда во время обследования на сооружении может быть развернуто несколько приемников. Благодаря недавно разработанным методам быстрого статического позиционирования время для проведения измерений на каждой станции сводится к нескольким минутам относительное положение любых идентифицируемых точек объекта можно определить по геометрическому соотношению между пересекающимися оптическими лучами, которые соединяют изображение и точки объекта. Аэрофотограмметрия широко используется для определения движений грунта при исследованиях просадки грунта в горных районах, а наземная фотограмметрия используется для мониторинга инженерных сооружений. Основными преимуществами использования фотограмметрии являются сокращение времени полевых работ; одновременные трехмерные координаты; и в принципе можно контролировать неограниченное количество точек

Аппаратно-программный комплекс. ГНСС состоит из трех сегментов: космического, наземного и пользовательского.

Космический сегмент представляет собой созвездие спутников. В настоящее время существует несколько ГНСС:

- GPS (global position system), управление которой осуществляется правительством США;
- ГЛОНАСС (глобальная навигационная спутниковая система), Российская спутниковая система;
- Galileo, европейская спутниковая система;

К примеру количество спутников GPS нынешнее время состоит из 24 действующих спутников, развернутых в шести равномерно расположенных плоскостях с наклоном 55° и по четыре спутника на плоскость. Кроме того, будет функционировать до четырех активных запасных спутников для пополнения запасов. С полным созвездием космический сегмент обеспечивает глобальное покрытие четырьмя-восемью одновременно наблюдаемыми спутниками выше 15° высоты в любое время суток.

Наземный сегмент или система оперативного управления (СОУ) состоит из главной станции управления, станций мониторинга и наземных станций управления. Основными оперативными задачами СОУ являются: слежение за спутниками для определения и

прогнозирования орбиты и часов, временная синхронизация спутников и загрузка информационного сообщения на спутники. СОУ также отвечает за наложение Выборочной доступности на широковещательные сигналы. СОУ выполняет множество неоперативных видов деятельности, таких как закупки и запуски.

Пользовательский сегмент включает все приемники, выполняющие определение своего местоположения. Сегодня GPS-приемники регулярно используются для проведения всех видов наземных и геодезических контрольных съемок, а также для точного позиционирования фото-самолетов, чтобы уменьшить объем наземного контроля, необходимого для картографирования.

Использование систем. Спутниковый навигационный приёмник может быть установлен в любой точке объекта, в которой обеспечивается приемлемая видимость небосвода. Типовое применение спутниковых навигационных приёмников – для контроля мостов (высоких пилонов и пролёта), дамб и плотин, высотных зданий, нефтяных платформ. Особенностью применения спутниковых технологий является обязательное наличие опорной базовой станции, которая обеспечивает необходимые поправки и позволяет достичь высокой точности спутниковых измерений. Базовая станция может быть локальной (располагаться недалеко от объекта) или сетевой (используется одна, ближайшая к объекту базовая станция из существующей в данном регионе или области сети базовых станций).

Основные функции системы:

- сбор и централизованная обработка первичных измерительных данных датчиков ГНСС; автоматическое определение (в реальном времени и в режиме долгосрочных наблюдений) абсолютных и взаимных смещений контрольных маркеров объекта мониторинга (в местах установки датчиков ГНСС) с прецизионной точностью (рис.1):



Рисунок 1. Система ГНСС

- выработка на основе информации ГНСС оценок параметров технического состояния объекта (отклонений сооружения от вертикали, перемещения несущих конструкций, смещения одних частей объекта относительно других, осадки и подъема сооружения относительно грунта, раскрытия трещин, стыков на поверхности несущих конструкций, расхождения несущих конструкций);

- оценка периодических и сезонных изменений положения элементов и конструкций объекта мониторинга;

- оценка и прогнозирование технического состояния объектов и их элементов на основе анализа оперативных и долгосрочных данных контура мониторинга на базе технологий ГНСС и средств мониторинга, основанных на иных
- формирование и ведение архивов данных системы мониторинга.
- прогнозирование возможности развития аварийных и чрезвычайных ситуаций на объекте мониторинга, формирование и передача на диспетчерский пункт и удаленные терминалы системы мониторинга оперативных сообщений о достижении объектом (его элементом) предельно допустимых значений количественных параметров технического состояния; визуальное отображение в реальном времени (на АРМ диспетчерского пункта и удаленных терминалах системы мониторинга) параметров состояния объекта (в числовом, графическом и мнемоническом представлении);

Типовой состав малой системы мониторинга деформаций объекта:

- от 2 до 6 [датчиков ГНСС](#) (один или более назначается базовым и устанавливается на заведомо неподвижном основании (рис.2);
- [процессорный модуль](#) прецизионной навигации (выполняет функции сервера системы);
- автоматизированное рабочее место оператора + [программное обеспечение АРМ](#);
- средства связи и электропитания.



Рисунок 2. Базовые оборудование

В зависимости от топологии контролируемого объекта система допускает использование, как проводных, так и беспроводных средств связи.

Типовая точность определения взаимного положения антенн датчиков системы:

- в реальном времени: 5-10 мм
- в режиме квазистатических определений: 2-4 мм

Для расширения функциональных возможностей объектового центра мониторинга используется программное обеспечение, обеспечивающее:

- обработку и интерпретацию данных, выявление аномалий, получение интегральных оценок и моделей нештатных ситуаций в отношении инженерного сооружения (объекта) с использованием 3D-моделирования, космических и аэроснимков;
- ведение информационных баз данных для обеспечения поддержки принятия и реализации управленческих решений по защите объектов (накопление и архивацию данных);
- подготовку и использование моделей развития ситуаций по состоянию полученных оперативных данных;
- прогнозирование угроз объектам, динамики изменения состояния их защищенности под влиянием техногенных и природных факторов;

Вывод. Точный мониторинг динамической реакции высотных зданий и сооружений на воздействие связанных с геологическими опасностями или оседанием грунта, в участках строительство метрополитенов позволяет не только оценить их работоспособность в режиме реального времени, но и дать ценную справку для соответствующего проектирования устойчивости. Технология GPS обеспечивает трехмерные перемещения контролируемого объекта и имеет много преимуществ перед традиционными методами мониторинга. В данной работе сделано сравнение ГНСС технологий с традиционным методом мониторинга и рассмотрены возможности ГНСС технологий в области мониторинга деформаций высотных зданий и сооружений. Предложенный метод мониторинга прост в реализации и позволяет снизить затраты на мониторинг, при этом точность позиционирования сравнима с традиционным методом.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] B. Hofmann-Wellenhof., H. Lichtenegger., J. Collins Global Positioning System Theory and Practice. – Вена: 2001
- [2] S. Erol., B. Erol., T. Ayan. A general review of the deformation monitoring techniques and a case study: analysing deformations using gps/levelling // Istanbul.
- [3] Zhonghai Yi., Cuilin Kuang., Yarong Wang. Combination of High- and Low-Rate GPS Receivers for Monitoring Wind-Induced Response of Tall Buildings. Sensors 2018
- [4] https://farwater-gnss.ru/solutions_ru/sistemy-monitoringa-prostranstvenny/
- [5] <https://findpatent.ru/patent/246/2467298.html>

REFERENCES

- [1] B. Hofmann-Wellenhof., H. Lichtenegger., J. Collins Global Positioning System Theory and Practice. – Вена: 2001
- [2] S. Erol., B. Erol., T. Ayan. A general review of the deformation monitoring techniques and a case study: analysing deformations using gps/levelling // Istanbul.
- [3] Zhonghai Yi., Cuilin Kuang., Yarong Wang. Combination of High- and Low-Rate GPS Receivers for Monitoring Wind-Induced Response of Tall Buildings. Sensors 2018
- [4] https://farwater-gnss.ru/solutions_ru/sistemy-monitoringa-prostranstvenny/
- <https://findpatent.ru/patent/246/2467298.html>

¹Дай Хуян, ²Б.Т. Анетов

¹Қытай таумен университеті, Пекин, КХР

²Satbayev University, Алматы, Казахстан

ГНСС ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ ҚӨМЕГІМЕН МЕТРО САЛУ КЕЗІНДЕ ЖЕР ҮСТІ ҚҰРЫЛЫМДАРЫНЫң ДЕФОРМАЦИЯСЫН БАҚЫЛАУ

Аннотация. Жалпы жер қыртысының осы күнгі жылжуларын, метрополитендер құрылышы участекелерінде геологиялық қауіп-қатерлерге немесе топырақтың шөгүіне байланысты деформацияларды уақытын анықта отыру - адамдардың өмірін сақтап, ірі қаржылық міндеттемелердің алдын алады және қоршаған ортаға елеулі зиян келтірмеуді қамтамасыз етеді. Осындағанда бақылауларда қазіргі уақыттағы ғаламдық навигациялық жерсеріктік жүйелер (ГНСС) ғимараттар мен құрылыштардың деформациясын болжаку және мониторинг саласындағы проблемалардың шешімдерінің бірі ретінде карастырылуда. Ғалымдық навигациялық жерсеріктік жүйелердің технологиялары жақында инфракұрылымды және жер қыртысының қозғалысын бағалау үшін биік ғимараттардың, көпірлер мен бөгеттердің деформацияларын бақылау үшін қолданылады. Ғаламдық навигациялық жерсеріктік жүйелер (ГНСС) құрылғыларын жаңа жетілдіру нақты уақыт режимінде жоғары дәлдікпен және 24 сағаттық қол жетімділікпен мониторинг жүргізуге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: ГНСС технологиялары, метрополитен, деформация бақылау, ГПС құрылғылар.

¹Dai Huyang, ²B.T. Anetov

¹China Mining University, Beijing, China

²Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

OBSERVATIONS OF THE DEFORMATION OF SURFACE STRUCTURES DURING THE CONSTRUCTION OF THE SUBWAY USING GNSS

Annotation. Timely detection of deformations associated with geological hazards or subsidence of the ground in the sections of the construction of subways can save lives, prevent large financial obligations and avoid serious damage to the environment. Currently, Global Navigation Satellite Systems (GNSS) are considered as one of the solutions to problems in the field of monitoring and predicting deformations of buildings and structures. GNSS technologies have recently been used to monitor the deformations of high-rise buildings, bridges and dams to assess infrastructure, and the movement of the earth's crust. New improvements to the GNSS instruments allow monitoring with high accuracy in real time and with 24-hour availability.

Key words: GNSS technology, metro, monitoring of deformations, GPS devices.

• ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

ӘОЖ 378:625.162.22

<https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.v143.i1.06>

З.А. Маханова*, П.А. Кожабекова, М.А. Сейтжаппар, Н.Е. Сабит

М.О.Әуезов атындағы ОҚМУ, Шымкент, Қазақстан

*e-mail: zlikha70@bk.ru

ҚАЗАҚ ТІЛІНІҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН МАРКЕРЛІК КОРПУСЫН ӘЗІРЛЕУ

Аннотация. Мақала қазақ тілін технологиялармен жақындастыру туралы. Себебі болашакта бізді қоршаган барлық дүниелер технологиялармен тығыз байланыста болмақ. Қунделікті қолданыстағы жаңа сөздер, қалыптастып жатқан жаңа қызметтік лауазымдар айтылып отырған трансформацияның жаршысы секілді. Ақпараттық технологиялар және интернеттің үдересі дамуы қоғам мүшелері арасындағы коммуникациялық байланысты арттыруда. Бұл өз кезегінде жоғары көлемді сандық ақпараттық топтастырылуы мен жинақталуына себеп болды. Іс жүзінде, ақпарат алмасу тек қана технологиялық байланыс қана емес, сонымен бірге құрделі лингвистикалық құбылыс. Адамдардың лингвалды құралдарды, тілді пайдалануы, сөз тіркестері мен сөзді қолдануы, мәліметтердің құрылымдық ортасын түсінуі сияқты мәселелер лингвистика білімінің мәнді саласына айналып, лингвистика мен компьютер ғылымының тоғысқан жерінде компьютерлік лингвистика пәндік аймағы пайда болды.

Негізгі сөздер: корпус, маркерленген корпус, лингвистика, корпустық лингвистика, корпустық технология, токенизация, лемматизация.

Корпус — белгілі бір ережелер бойынша таңдалған және өндөлген, тілді зерттеу үшін база ретінде қолданылатын мәтіндер жиынтығы. Олар статистикалық талдау және статистикалық гипотезаларды тексеру, осы тілдегі лингвистикалық ережелерді растау үшін пайдаланылады.

Корпус мәтіндердің шектеулі санынан тұрады, бірақ ол тиісті тілдегі (немесе тіл астындағы) мәтіндердің барлық көлемі үшін типтік лексикограммалық феномендерді барабар көрсетуге арналған. Функционалдылық үшін корпустың көлемі мен құрылымы маңызды. Ұсынылған өлшем міндетке байланысты, өйткені ол зерттелетін феномендер үшін көптеген мысалдар табылуы мүмкін. Статистикалық тұрғыдан қараганда тіл салыстырмалы түрде сирек сөздердің көп санын (Цифр Заңы) қамтитындығына байланысты, алғашқы бес мың ең жиіліктік сөздерді (мысалы, шығын, кешірім) зерттеу үшін 10-20 миллионға жуық сөз қолданылатын корпус талап етіледі, ал алғашқы жиырма мың сөзді (атаусыз, жүрек қағу, қобалжу) сипаттау үшін жүз миллионнан астам сөз қолданылатын корпус талап етіледі.

Мәтіндердің бастапқы маркерлеуде әрбір корпус үшін міндетті кезеңдер жатады:

- токенизация (орфографиялық сөздерді бөлу)
- лемматизация (сөз қорын сөздік формасына келтіру)
- морфологиялық талдау

Нәтижелерді ұсыну мәселе.

Үлкен корпустарда бұрын өзекті емес мәселе пайда болады: сұрау бойынша іздеу шектелген уақытта физикалық тұрғыдан қарауға мүмкін емес жүздеген және тіпті мындаған нәтижелер (қолдану контекстері) бере алады. Бұл проблеманы шешу үшін іздеу нәтижелерін топтастыруға және оларды ішкі жинақта автоматты түрде бөлуге мүмкіндік беретін (іздеу

нәтижелерін кластерлеу) не олардың маңыздылығын статистикалық бағалаумен неғұрлым тұрақты сөз тіркестерін (коллокация) беретін жүйелер өзірленеді [1].

Кейбір корпустарда талдаудың одан әрі құрылымдық деңгейлері қолданылады. Атап айтқанда, кейбір шағын корпустар толығымен синтаксистік түрде таңбалануы мүмкін. Мұндай корпустар әдетте терең аннотацияланған немесе синтаксистік деп аталады. Морфологияның, семантиканың және прагматиканың аннотациясын қоса алғанда, лингвистикалық құрылымдық талдаудың басқа да деңгейлері болуы мүмкін.

Корпус – корпустық лингвистиканың негізгі түсінігі мен деректер базасы. Корпустардың әртүрлі типтерін талдау және өндөу компьютерлік лингвистика, сөйлеу және машиналық аударма саласындағы жұмыстардың көпшілігінің мәні болып табылады, онда корпустар сөйлеудің бөліктерін және басқа да міндеттерді таңбалау үшін жасырын маркалық модельдерді жасау кезінде жиі қолданылады. Корпустар мен жиілік сөздіктер шет тілдерін оқытуда пайдалы болуы мүмкін.

Мәтіндік корпустарды құрудың мақсаттылығы:

- нақты контексте лингвистикалық деректерді ұсыну;
- деректердің үлкен өкілеттілігі (корпус үлкен көлемде);

-мысалы, мәтінді графикалық және лексикалық-грамматикалық талдауды жүзеге асыру және т. б. сияқты әртүрлі лингвистикалық міндеттерді шешу үшін бір рет құрылған корпусты бірнеше рет қолдану мүмкіндігі.

Корпус құрудың технологиясы келесі қадамдардан тұрады:

1. Мәтіндердің дереккөз талаптарына сай жинақталуы.

2. Машинаға ынғайлы форматқа келтіру-құрылымдау. Корпусқа қажетті мәтіндер әртүрлі тәсілмен алынуы мүмкін: сканерлеу, қолмен теру, авторлық көшірме, интернет, түпнұсқалық макет т.с.с.

3. Талдау және мәтінді алдын ала өндөу. Бұл қадамда әртүрлі дереккөздерден алынған мәтіндер филологиялық түзетулерден өтеді. Корпустың техникалық сипаттамасы мәтіннің библиографиялық және экстралингвистикалық сипаттамасын қамтиды.

4. Конверттеу және графематикалық талдау. Кейбір мәтіндер алдын ала машиналық өндөудің бірнеше сатысынан өтеді. Бұл орайда (қажет болса) қайта кодтау, мәтіндік емес элементтерді (кесте, сурет) жою не өзгерту, жана азат жолдарды өшіру, сызықшаның бірегей қойылуын қадағалау (мысалы: <<-->>, <<-->>) т.б. әрекеттер орындалады. Графикалық талдауда болса: кіріс мәтінін элементтерге (сөйлем, сөз т.б.) бөлу, лексикалық емес элементтерді табу және рәсімдеу, арнайы символдарды (атаулар (аты-жөн инициалдары)) өндөу, өзге тіл лексемдерін бақылау, сурет атауларын өндөу жүзеге асырылады.

5. Мәтінді таңбалау (разметка). Таңбалау кезінде мәтін сөздеріне қосымша мәліметтер (метмәлімет) тағайындалады. Метамәліметтерді 3 типке бөлуге болады: экстралингвистикалық-барлық мәтінге қатысты, мәтін құрылымы бойынша мәлімет, лингвистикалық метамәлімет мәтін элементтерін сипаттайтын. Метамәліметтер элементтің библиографиялық, жанрлық сипаттамасына қатысты, стиліне және авторына қатысты мәліметтермен қоса файл аты, код тәсілі, таңбалау нұсқасы сынды формалды ақпараттарды да қамтиды. Әдетте айтылған мәліметтерді қолмен теріп енгізеді. Құжатты құрылымдық талдау (абзацтарға бөлу, сөйлемдер ажырату т.б.) автоматты түрде жүзеге асырылады.

6. Автоматты таңбалау нәтижелерін түзету: қателерді жөндеу, бірегей емес бөліктерді тенгеру.

7. Көп аспекттің іздеу мен статистикалық талдауға жағдай жасайтын арнайы лингвистикалық ақпараттың іздеу жүйесіне конвертациялау (корыткы этап).

8. Корпусқа енү мүмкіндігін жүзеге асыру. Корпус жеке есептеуіш құрылғы жадынан бөлек басқа да тасымалдағыштар арқылы тіпті, глобальды желі арқылы таралуы мүмкін.

9. Сұраныстар тіліне, таңбалау тәсіліне және корпусты қолдану туралы нұсқалық бойынша құжаттамалар даярлау [2].

Іс жүзінде кейбір қадамдарды жүзеге асыру үшін курделірек технологиялар қажет болуы мүмкін.

Қазіргі уақытта корпустық лингвистика проблематикасындағы қолданбалы шешімдер саласы құралдардың кең спектрімен өнделуде. Алайда, ТТӨ(Техникалық тілді өңдеу) құралдарының кез – келген заманауи іске асырылуы ішінара шешім және толық, әмбебап шешім бірнеше бағыттарда дамуы шығармашылық іздестіруді ынталандыратын осындай құралдардың болашақ әзірлемелерінің қайнар көзі болып табылатынын ескеру қажет. Қөптеген практикалық шешімдердің негізі статистикалық тәсілдер болып табылады. Сондықтан қандай да бір математикалық модельдер мен әдістерді қолдана отырып, табиғи тіл жүйесін теориялық ұғыну талпыныстарына негізделген тілдік қызметті зерттеуде аналитикалық бағытты дамыту өзекті болып табылады.

Қазіргі таңда компьютерлік лингвистика саласының жетістіктері екі басыңқы бағытта қолданылуда:

– тілдер семантикасын ұғыну мен зерттеу әдістерін жетілдіру. Бұрын белгісіз болып келген құбылыстар мен заңдылықтарды ашу.

– машина мен адам арасындағы қатынасты жеңілдету. Осы бағытта технологиялық шешімдердің өнімдеріне назар аударылады. Айтып кеткеніміздей, компьютерлік лингвистиканың өнімдері жасанды интеллекттің оқытуда негізгі құрамдас бөлік.

Мәтіндік корпустарды құрудың маңыздылығы:

– нақты контексте лингвистикалық деректердің ұсыну;

– деректердің үлкен өкілеттілігі (корпус үлкен көлемде);

– мысалы, мәтінді графикалық және лексикалық-грамматикалық талдауды жүзеге асыру және т. б. сияқты әртүрлі лингвистикалық міндеттерді шешу үшін бір рет құрылған корпусты бірнеше рет қолдану мүмкіндігі.

Қорыта айтқанда, корпустарды қолдану арқылы зерттеудің статистикалық әдістерін қолдана отырып, тілдік құбылыстар туралы болжамдарды растауға немесе жоққа шығаруға болады. Алдымызға қойған міндеттерді шешу үшін корпустың болуы жеткіліксіз. Мәтінде лингвистикалық ақпараттың болуы қажет. Осылайша белгіленген корпус идеясы пайда болды. Таңбалар сөздердің жиілігін және әр түрлі тіл бөліктері өкілдерінің жиілігін есептеуге көмектеседі. Лингвистикалық таңба сөзге кодты (тәг) беру үшін пайдаланылады, ол сөзді сипаттайтын грамматикалық белгілер жиынтығын білдіреді.

Корпустар пайдаланушылардың бірнеше қайталап пайдалануына арналған, тиісінше, олардың таңбалануы және олардың бағдарламалық жабдықтамасы белгілі бір түрде біріздендірілуі тиіс. Таңбаларға қатысты айтар болсақ, лингвистикалық да, экстрагравитикалық да таңба мәтіндер мен тілдік бірліктерді сипаттаудың кейбір кең тараған және қабылданған қағидаттарына негізделуі тиіс. Таңбалардың параметрлері мен олардың мәндері "табиғи" жеткілікті болуы тиіс, яғни жалпы қабылданған ғылыми сипаттамаға сәйкес болуы тиіс. Бағдарламалық қамтамасыз етуге келетін болсақ, ол типтік сұраныстарды өңдеуді және типтік тапсырмаларды шешуді қолдайды. Форматтарды толтыру мен құрылымдарды біріздендіру үлкен маңызға ие. Деректерді ұсынудың бірыңғай пішімдері қөптеген жағдайларда бірыңғай бағдарламалық жасақтаманы пайдалануға және корпустық деректермен алмасуға мүмкіндік береді. Корпустарға қатысты стандарттау, деректер типтерінің үйлесімділігі әр түрлі корпустарды салыстыру түрғысынан да маңызды.

ӘДЕБИЕТТЕР

[1] Архипов А.В. Разметка лингвистическая [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:0127221#r1_1. Дата доступа: 15.03.2014.

[2] Азарова И.В., Алексеева К.Л., Захарова Л.А. Разметка текстовых фрагментов в корпусе агиографических текстов СКАТ//Труды международной конференции «Корпусная лингвистика – 2006». – СПб: изд-во С.-Петерб. ун-та, Изд-во РХГА, 2006. – С. 16-24.

REFERENCES

[1] Arhipov A.V. Razmetka lingvisticheskaja [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: http://www.lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:0127221#r1_1. Data dostupa: 15.03.2014.

[2] Azarova I.V., Alekseeva K.L., Zaharova L.A. Razmetka tekstovyh fragmentov v korpusse agiograficheskikh tekstov SKAT//Trudy mezhdunarodnoj konferencii «Korpusnaja lingvistika – 2006». – SPb: izd-vo S.-Peterb. un-ta, Izd-vo RHGA, 2006. – S. 16-24.

З.А. Маханова*, П.А. Кожабекова, М.А. Сейтжаппар, Н.Е. Сабит

ЮКГУ имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан

*e-mail: zlikha70@bk.ru

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МАРКЕРНОГО КОРПУСА КАЗАХСКОГО ЯЗЫКА

Аннотация. Статья о сближении казахского языка с технологиями. Потому что в будущем все окружающие нас мир будут тесно связаны с технологиями. Как будто новые слова в повседневной жизни, новые формируемые служебные должности-это вестник трансформации. Информационные технологии и процессное развитие интернета увеличивают коммуникационные связи между членами общества. Это, в свою очередь, послужило поводом для консолидации и накопления высокоразвитой цифровой информации. На самом деле, обмен информацией не только технологическая связь, но и сложное лингвистическое явление. Такие проблемы, как использование людьми лингвальных средств, языка, употребление словосочетаний, понимание структурной среды данных, стали существенной сферой лингвистических знаний, в сочетании с лингвистикой и компьютерной наукой возникла предметная зона компьютерной лингвистики.

Ключевые слова: корпус, маркированный корпус, лингвистика, корпусная лингвистика, корпусная технология, токенизация, лемматизация.

Z.A. Makhanova*, P.A. Kozhabekova, M.A. Seitzhappar, N.E. Sabit

SKSU named after M.Auezov, Shymkent, Kazakhstan

*e-mail: zlikha70@bk.ru

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED MARKER CORPUS OF THE KAZAKH LANGUAGE

Abstract. Article about the convergence of the Kazakh language with technologies. Because in the future, all the world around us will be closely connected to technology. It is as if new words in everyday life, new positions being formed, are the messenger of transformation. Information technologies and the development of the Internet strengthen communication links between members of society. This, in turn, led to the consolidation and accumulation of highly developed digital information. In fact, information exchange is not only a technological connection, but also a complex linguistic phenomenon. Problems such as people use of lingual means tongue, the use of phrases, understanding the structural data environment, have become a significant field of linguistic knowledge, combined with linguistics and computer science arose the subject area of computational linguistics.

Keywords: corpus, labeled corpus, Linguistics, corpus linguistics, corpus technology, tokenization, lemmatization.

В.Н. Домрачев*

Satbayev University, Алматы, Казахстан

*e-mail: vladimir.domrach@mail.ru

АНАЛИЗ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ

Аннотация. В данной статье рассмотрены современное состояние науки о причинах искажений цифровых сигналов. Сотовая и радиорелейная связь, передача данных по компьютерным сетям, цифровое радиовещание и телевидение, представленные в различных и многообразных форматах, охватили все страны мира. Высокое качество связи, сравнительно низкие затраты на ее организацию и, поэтому, доступность для широких слоев населения всех стран, обеспечило этот успех. Современные системы цифровой связи используют все освоенные диапазоны частот, разные виды модуляции и способы обработки сигналов. Реальный канал беспроводной связи обладает частотно-временным рассеянием что приводит к межсимвольной (МСИ) и межканальной (МКИ) интерференциям. Само по себе это явление не ведет к большим проблемам, т.к. существуют достаточно много эффективных методов борьбы. На современном этапе для каналов с частотно-временным рассеянием лучшей считается мультиплексирование (уплотнение) с ортогональным частотным разделением (OFDM - Orthogonal Frequency Devision Multiplexing). В статье приведены методы борьбы с искажениями, помехоустойчивое канальное кодирование, использование OFDM, FBMC, UFMC.

Ключевые слова: цифровая связь, межсимвольная интерференция, искажения сигналов, многолучевая интерференция, компенсация межсимвольных искажений, OFDM, FBMC, UFMC.

Введение. В современном мире происходит бурный скачок в развитии цифровой связи. Сотовая и радиорелейная связь, передача данных по компьютерным сетям, цифровое радиовещание и телевидение, представленные в различных и многообразных форматах, охватили все страны мира.

Высокое качество связи, сравнительно низкие затраты на ее организацию и, поэтому, доступность для широких слоев населения всех стран, обеспечило этот успех. Число пользователей непрерывно увеличивается, поэтому необходимо совершенствовать системы цифровой связи, повышая их качество и снижая требования к ресурсам, обеспечивающим качественную передачу информации. Современные системы цифровой связи используют все освоенные диапазоны частот, разные виды модуляции и способы обработки сигналов.

Цели и задачи. Значительное повышение скорости передачи цифровой информации по линиям связи требует разработки новых путей повышения качества передачи информационных потоков по каналам передачи информации, что в свою очередь нуждается в создании программно-аппаратных средств для решения такой проблемы.

Качество передачи цифровой информации в значительной степени зависит от свойств и особенностей каналов передачи информации, так как полезный информационный сигнал искажается из-за влияния шумов, помех, недостатка у системы связи энергетического потенциала, изменения свойств канала, многолучевости при распространении сигнала и по целому ряду других причин, влияющих на передаваемый сигнал и на оборудование системы передачи информации.

Одной из основных причин снижения достоверности приема цифровой информации является уменьшение отношения сигнал/шум на входе приемного устройства. Другая причина - это искажения сигнала, из-за замираний сигнала в канале связи и межсимвольной интерференции.

Эти причины снижения достоверности приема цифровой информации приводят к двум различным типам ошибок:

- стирание сигнала (пропадание посылок на выходе детектора)
- ошибочный прием посылок (прием вместо единичной посылки нулевой и наоборот).

В свою очередь ошибочный прием посылок разделяют на единичные (независимые) и пакетные ошибки. При пакетных ошибках искажены несколько подряд идущих в цифровом потоке посылок.

Методы исследования. Наиболее полно приближённые методы изложены в работах Баланиса А., положения которых, актуальные с практической точки зрения, внесены в рекомендации международного союза электросвязи (МСЭ-Р Р.1238-7, МСЭ-Р Р.526-13). Кондратьев А.В., Авдеев В.Б., Катруша А.Н. внесли вклад в развитие методологии расчёта многолучевости при их распространении.

Основная часть. Различные каналы связи обладают своими особенностями, но наиболее сложными являются многолучевые радиоканалы связи и каналы связи с мобильными системами. В таких каналах связи, кроме ослабления сигналов при распространении, из-за флюктуаций параметров атмосферы, многолучевости, смены климатических и погодных условий и ряда других причин возникают искажения передаточной функции канала, называемые замираниями.

Флюктуации огибающей принимаемого сигнала, вызываемые медленными замираниями, все исследователи описывают [1] логарифмически-нормальным законом распределения вероятностей.

Быстрые замирания сигнала чаще всего описывают релеевским законом распределения вероятностей. Однако многочисленные эксперименты на различных линиях коротковолновой и тропосферной связи показывают, что описание быстрых замираний сигнала законом Релея является упрощенным и более 30% времени сеансов связи наблюдаются [6, 7] замирания не соответствующие такому описанию.

Более точное многомерное описание быстрых замираний предложил Накагами [8], но многомерное описание оказалось слишком сложным для аналитических исследований. Кловский Д.Д. разработал [6] более простое описание быстрых замираний, получившее название четырехпараметрического закона замираний. Этот закон оказался достаточно удобным для моделирования каналов связи различного типа [7] и показал соответствие реальным изменениям передаточной функции.

В результате замираний сигнала, помех в канале связи, тепловых и переходных шумов на выходе приемника возникают как одиночные, так и групповые ошибки. И если соотношение сигнал/шум на входе приемника возможно увеличить, повышая энергетический потенциал системы связи, то для противодействия негативному влиянию помеховых сигналов этого часто недостаточно и без применения избыточных корректирующих кодов в таких случаях не обойтись.

Отметим, что применение избыточных корректирующих кодов технически и экономически более выгодно [10-12] для цифровых систем связи по сравнению с такими методами как увеличение мощности передатчиков, увеличение направленности антенн или повышение чувствительности приемных устройств.

Большинство алгоритмов исправления ошибок требует внесения избыточности в цифровой информационный поток, и платой за повышение достоверности передачи информации становится увеличение полосы пропускания, то есть снижение пропускной способности канала. Применение же методов решетчатого кодирования, не требующих расширения полосы частот, связано со значительным усложнением корректирующих алгоритмов и самой кодирующей аппаратуры [10,13].

Большой вклад в исследования систем передачи данных с разнесенным приемом/передачей внесли Л.М. Финк, И.О. Андронов и У.К. Ли, классифицировав виды разнесения и разработав различные алгоритмы объединения ветвей разнесения.

Исследования характеристик распространения радиоволн проводили многих ученые. Применительно к радиосвязи разработаны эмпирические модели свободного пространства Ли, Окамуры, Хата, Уолфиша-Икагами и др. Однако они не позволяют оценить влияние конкретных объектов и конструкций на рассеяние радиоволн. В работах Стреттона Дж.А., Менцера Дж.Р., Боровикова В.А., Кинбера В.Е., Бреховских Л.М., Уфимцева П.Я. изложены методы расчёта отражения радиоволн от различных преград, дифракции на телах с различной геометрией и прохождения через различные среды, как строгие, которые могут применяться с допущениями, так и приближённые, среди которых наиболее проработаны геометрическая оптика и геометрическая теория дифракции (вместе лучевое приближение), представляющие радиоволну в виде лучей, распространяющихся в пространстве вдоль определённых линий, т.е. трасс определённого типа, например, прямой, с отражением, с прохождением стены и т.д.

Для расчёта характеристик многолучевости в урбанизированных средах с помощью математического аппарата электродинамики в рамках лучевого приближения необходимо получить исходные данные, т.е. набор трасс распространения лучей и их характеристики (тип трассы, длина, углы падения). В отдельных работах (Ньян Лин Ч.Ч., Yun Z., Zhang Z., Rick T., Kuhlen T.) предлагается использовать фиксированный набор типов трасс. Такие модели подходят только для анализа частных задач (например, многолучевости в помещении).

Однако методология, позволяющая решать задачи общего порядка для урбанизированных сред на основе метода изображений, отсутствует. Таким образом, вопросы разработки теоретического и технического обеспечения определения характеристик распространения радиоволн вообще и конкретно побочного электромагнитного излучения применительно к урбанизированным средам требуют дальнейших исследований.

Наиболее часто в системах широкополосного радиодоступа используется технология ортогонального частотного разделения с мультиплексированием (OFDM). Однако тех характеристики, которые позволяет добиться технология OFDM в сетях 4G, уже недостаточно для удовлетворения высоких требований к сетям 5G.

Будущие сети мобильной связи 5G должны обеспечивать на порядок более высокие характеристики по сравнению с сетями LTE-Advanced, в том числе поддерживать скорость передачи данных до 20 Гбит/с, сетевые задержки – до 1 мс и возможность обслуживания до 1 млн. устройств на квадратный километр. Рост объема данных, передаваемых в мобильных сетях, и необходимость организации широкополосного доступа в сетях 5G в условиях ограниченности частотного ресурса требуют развития новых методов передачи данных, позволяющих повысить эффективность использования спектра.

Поэтому для сетей 5G рассматриваются такие новые перспективные технологии, как, например, многочастотная передача с гребенчатой фильтрацией FBMC (Filter Bank Multi Carrier) и многочастотная передача с универсальной фильтрацией UFMC. Благодаря применению дополнительных цифровых фильтров в технологиях FBMC и UFMC можно отказаться от использования защитного интервала с циклическим префиксом и тем самым повысить их спектральную эффективность по сравнению с технологией OFDM.

Технологии FBMC и UFMC более устойчивы к ошибкам оценки частотного и временного сдвигов, чем технология OFDM благодаря фильтрации, снижающей уровень боковых лепестков поднесущих и поэтому не требуют передачи дополнительных обучающих сигналов и сложных систем синхронизации. Также среди возможных вариантов для применения в стандартах связи рассматриваются спектрально эффективные сигналы SEFDM, которые отличаются от известных сигналов OFDM тем, что частотный разнос между поднесущими выбирается меньше, чем требуется для выполнения условия нулевой межсимвольной интерференции (МСИ). Ожидается, что потери на сложность реализации

алгоритма приема и энергетические потери, вызванные наличием МСИ, будут скомпенсированы значительным увеличением спектральной эффективности.

Выводы. 1. Основными причинами снижения качества приема цифровой информации и увеличения вероятности ошибок являются:

- уменьшение отношения сигнал/шум на входе приемного устройства;
- искажения сигнала из-за многолучевости, замираний сигнала в канале связи и межсимвольной интерференции.

2. Замирания сигналов в радиоканалах являются нестационарными процессами, в которых можно выделить интервалы локальной стационарности для конкретных типов замираний и создать математические описания замираний.

3. Медленные замирания описываются логарифмически-нормальным законом распределения вероятностей.

4. Быстрые замирания удобно описать четырехпараметрическим законом распределения вероятностей.

5. На основании анализа выбран наиболее эффективный метод для повышения качества передачи цифровой информации – применение помехоустойчивого кодирования.

6. Определена основная цель исследования – разработка комплекса верификации устройств помехоустойчивого кодирования.

Заключение. Основной задачей в современной телекоммуникации является построение моделей систем беспроводной связи, использующих различные сигналы с частотным мультиплексированием, и сравнительный анализ их поведения в различных каналах распространения с целью оценки возможности более широкого внедрения данных технологий.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] 25 лет инфокоммуникационной революции. / Под ред. Л.Е. Варакина. – М.: Издание МАС. – 2006. – 264 с.
- [2] Борисов, В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты. / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев и др. – М.: Радио и связь. – 2000. – 384 с.
- [3] Борисов, В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью. / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев и др. – М.: Радио и связь. – 2003. – 640 с.
- [4] Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. / Б. Скляр. – М.: Издательский дом «Вильямс». – 2004. – 1104 с.
- [5] Золотарев В.В., Овечкин Г.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы. Справочник. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2004. – 126 с.
- [6] HuF. Opportunities in 5G Networks: A Research and Development Perspective / Fei Hu. – CRC Press, 2016. – 556 p.
- [7] Farhang-Boroujeny B. Signal Processing Techniques for Software Radios /B. Farhang-Boroujeny-Lulu publishing house, 2015 -517p.
- [8] MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB/ Yong Soo Cho [etc]. - Wiley-IEEE Press, 2015. - 457p.
- [9] Farhang-Boroujeny B. OFDM Versus Filter Bank Multicarrier / B. Farhang-Boroujeny// IEEE Signal Processing Magazine, -2011, -Vol. 28, № 3, -pp. 92-112.
- [10] Isam S. Simple DSP-IDFT techniques for generating spectrally efficient FDM signals / S. Isam, I. Darwazeh// IEEE IET Int. Symp. Commun. Syst., Netw., Digital Signal Process. – 2016. – pp 20–24.
- [11] Prasad R. OFDM for wireless communications systems / Ramjee Prasad. - Artech House, Inc.BoСПВн. – 2015.-291p.
- [12] Darwazeh// IEEE IET Int. Symp. Commun. Syst., Netw., Digital Signal Process. – 2015. – pp 20–24.
- [13] Xu T. FPGA implementations of real-time detectors for a spectrally efficient FDM system/ T. Xu, R.C. Grammenos, I. Darwazeh// 20th Int. Conf. on Telecommunications (ICT). –2017. – pp 1–5.

• Физико-математические науки

[14] Гельгор А.Л. Преодоление «барьера» Найквиста при использовании одночастотных неортогональных многокомпонентных сигналов / А.Л. Гельгор, А.И. Горлов, Е.А. Попов // Радиотехника- 2015. - №1. - С. 32-48.

[15] Farhang-Boroujeny B. OFDM Versus Filter Bank Multicarrier / B. Farhang-Boroujeny // IEEE Signal Processing Magazine, -2016, -Vol. 28, № 3, -pp. 92-112.

REFERENCES

- [1] 25 let infokommunikacionnoj revoljucii. / Pod red. L.E. Varakina. – M.: Izdanie MAS. – 2006. – 264 s.
- [2] Borisov, V.I. Pomehozashhishennost' sistem radiosvjazi s rasshireniem spektra signalov metodom psevdosluchajnoj perestrojki rabochej chastoty. / V.I. Borisov, V.M. Zinchuk, A.E. Limarev i dr. – M.: Radio i svjaz'. – 2000. – 384 s.
- [3] Borisov, V.I. Pomehozashhishennost' sistem radiosvjazi s rasshireniem spektra signalov moduljaciej nesushhej psevdosluchajnoj posledovatel'nost'ju. / V.I. Borisov, V.M. Zinchuk, A.E. Limarev i dr. – M.: Radio i svjaz'. – 2003. – 640 s.
- [4] Skljar, B. Cifrovaja svjaz'. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primenenie. / B. Skljar. – M.: Izdatel'skij dom «Vil'jams». – 2004. – 1104 s.
- [5] Zolotarev V.V., Ovechkin G.V. Pomehoustojchivoe kodirovanie. Metody i algoritmy. Spravochnik. – M.: Gorjachaja linija. – Telekom, 2004. – 126 s.
- [6] HuF. Opportunities in 5G Networks: A Research and Development Perspective / Fei Hu. – CRC Press, 2016. – 556 p.
- [7] Farhang-Boroujeny B. Signal Processing Techniques for Software Radios /B. Farhang-Boroujeny- Lulu publishing house, 2015 -517p.
- [8] MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB/ Yong Soo Cho [etc]. - Wiley-IEEE Press, 2015. - 457p.
- [9] Farhang-Boroujeny B. OFDM Versus Filter Bank Multicarrier / B. Farhang-Boroujeny// IEEE Signal Processing Magazine, -2011, -Vol. 28, № 3, -pp. 92-112.
- [10] Isam S. Simple DSP-IDFT techniques for generating spectrally efficient FDM signals / S. Isam, I. Darwazeh// IEEE IET Int. Symp. Commun. Syst., Netw., Digital Signal Process. – 2016. – pp 20–24.
- [11] Prasad R. OFDM for wireless communications systems / Ramjee Prasad. - Artech House, Inc.BoСПBn. – 2015.-291p.
- [12] Darwazeh// IEEE IET Int. Symp. Commun. Syst., Netw., Digital Signal Process. – 2015. – pp 20–24.
- [13] Xu T. FPGA implementations of real-time detectors for a spectrally efficient FDM system/ T. Xu, R.C. Grammenos, I. Darwazeh// 20th Int. Conf. on Telecommunications (ICT). –2017. – pp 1–5.
- [14] Gel'gor A.L. Preodolenie «bar'era» Najkvista pri ispol'zovanii odnochastotnyh neortogonal'nyh mnogokomponentnyh signalov / A.L. Gel'gor, A.I. Gorlov, E.A. Popov // Radiotekhnika- 2015. - №1. - S. 32-48.
- [15] Farhang-Boroujeny B. OFDM Versus Filter Bank Multicarrier / B. Farhang-Boroujeny // IEEE Signal Processing Magazine, -2016, -Vol. 28, № 3, -pp. 92-112.

В.Н. Домрачев*

Satbayev University, Алматы, Қазакстан

*e-mail: vladimir.domrach@mail.ru

САНДЫҚ СИГНАЛДАРДЫҢ ҚАБІЛСІЗДІГІН АРТТЫРУ ТАЛДАУЫ

Андратпа. Бұл мақалада цифрлық сигналдардың бүрмалану себептері туралы ғылымның қазіргі жағдайы қарастырылған. Ұялы және радиорелелік байланыс, деректерді компьютерлік желілер арқылы беру, сандық радиохабар және теледидар түрлі және алуан түрлі форматтарда ұсынылған, әлемнің барлық елдерін қамтыды. Байланыстың жоғары сапасы, оны ұйымдастыруға салыстырмалы түрде төмен шығындар, сондықтан барлық елдердің жалпы тұрғындары үшін қол жетімділік бұл табысты қамтамасыз етті. Қазіргі заманғы сандық байланыс жүйелері барлық дамыған жиілік диапазондарын, модуляцияның әртүрлі түрлерін және сигналдарды өндөу әдістерін қолданады. Нақты сымсыз байланыс арнасы жиілік - уақыт шашырауына ие, бұл таңбааралық (ісі) және

арнааралық (ici) кедергілерге әкеледі. Бұл құбылыстың өзі үлкен проблемаларға әкелмейді күрестің көптеген тиімді әдістері бар. Қазіргі кезеңде жиіліктік - уақыттық шашырауы бар арналар үшін ортогональды жиілікті бөлу (OFDM - Orthogonal Frequency Devision Multiplexing) бар мультиплекстеу (тығыздау) ен жақсы болып саналады. Мақалада бұрмалауды бақылау әдістері, шуылға қарсы каналды кодтау, OFDM, FBMC, UFMC қолдану әдістері көлтірлген.

Негізгі сөздер: цифрлық байланыс, символаралық интерференция, сигналдарды бұрмалау, көпсәуелік интерференция, символаралық бұрмаланудың орнын толтыру, OFDM, FBMC, UFMC.

V.N. Domrachev*

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: vladimir.domrach@mail.ru

ANALYSIS OF IMMUNITY INCREASE OF DIGITAL SIGNALS

Abstract. This article examines the current state of the science of the causes of digital signal distortion. Cellular and radio relay communications, data transmission over computer networks, digital radio broadcasting and television, presented in various and diverse formats, covered all countries of the world. The high quality of communication, relatively low costs for its organization and, therefore, accessibility to the general population of all countries, ensured this success. Modern digital communication systems use all the mastered frequency ranges, different types of modulation and signal processing methods. A real wireless communication channel has time-frequency scattering, which leads to inter-character (MSI) and inter-channel (MCI) interference. By itself, this phenomenon does not lead to big problems, because there are quite a lot of effective methods of fighting. At the present stage, for channels with time-frequency scattering, multiplexing (compaction) with orthogonal frequency division (OFDM - Orthogonal Frequency Devision Multiplexing) is considered the best. The article presents methods of combating distortion, noise-resistant channel coding, the use of OFDM, FBMC, UFMC.

Keywords: digital communication, inter-character interference, signal distortion, multipath interference, inter-character distortion compensation, OFDM, FBMC, UFMC.

Д.Р. Рахимова, Н.М. Пазылхан*, А.А. Кульжанова, Ж.Г. Ален

Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

*e-mail: npazylhan@gmail.com

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И ПРОГРАММНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕИЗВЕСТНЫХ СЛОВ ПРИ ПОСТРЕДАКТИРОВАНИИ МАШИННОГО ПЕРЕВОДА

Аннотация. Машинный перевод - это технология последовательного перевода текстов с одного языка на другой компьютерной программой. В результате машинного перевода всегда есть определенные недостатки, которые можно решить постредактированием. Постредактирование - человеческая обработка текста после машинного перевода. Сегодня многие поставщики языковых услуг активно развиваются в этом направлении, разрабатывая методы обучения редакторов и методы постредактирования. В работе представлен обзор современных проблем систем машинного перевода. В данной работе рассматривается задача определения неизвестных слов при постредактировании машинного перевода для казахского языка. Проведен анализ существующих методов нахождения неизвестных слов при постредактировании машинного перевода. Представлены модель определения неизвестных слов при постредактировании машинного перевода для англо-казахского и русско-казахского языка, практические результаты и программная реализация.

Ключевые слова: машинный перевод, NLTK, морфологический анализ, неизвестные слова, постредактирование машинного перевода.

Обзор существующих методов. Каждая система машинного перевода сталкивается с проблемой неизвестных слов. Доступные в настоящее время корпуса, особенно для языков с меньшими ресурсами, не охватывают все возможные слова на данном языке, и часто добавляются новые слова. Словарь - неотъемлемая часть любой системы машинного перевода. «Неизвестный» определяется как слово, для которого нет словарной статьи. Проблема неизвестного слова особенно серьезна для небольших портативных систем перевода, поскольку здесь словарный запас должен быть ограничен, чтобы можно было разместить систему перевода на портативном устройстве [1]. Имена (имена собственные), акронимы, аббревиатуры, терминология и слова, взятые из других языков (иностранные слова), являются одними из основных источников, которые вносят вклад в список неизвестных. Хотя делается попытка создать лексическую базу данных для конкретного домена, содержащую терминологию, аббревиатуры, акронимы и имена собственные, которые могут использоваться в этом домене, невозможно сделать ее включающей все. Однако грамматические правила построения рода, числа, номинализации глаголов или форм соответствуют таковым для используемого языка независимо от их происхождения. Эта вызывает частую встречу неизвестных слов в повседневное общение [2].

Текущие системы SMT либо отбрасывают неизвестные слова, либо буквально копируют их в вывод. Однако качество нейромашинного перевода пока не приближается к профессиональному переводу. Основная проблема нейронного машинного перевода - необходимость больших объемов параллельных вложений необходимые для обучения нейромашинному переводу. Это особенно актуально для малоресурсных языков, которым относится казахский язык. Способы решения этой проблемы: создание естественных параллельных корпусов профессиональными переводчиками или создание синтетических параллельных корпусов. Первый случай - процесс, требующий значительных ресурсов; Во втором случае возможны различные подходы к созданию синтетических параллельных пакетов. На качество нейронного машинного перевода также влияет проблема неизвестных

слов, то есть слов, находящихся за пределами словаря системы машинного перевода (Out Of Vocabulary - OOV) [3, 4].

Для решения проблемы неизвестных слов было предложено несколько подходов, которые можно разделить на три категории. Первая категория подходов направлена на повышение скорости расчета производительности инструмента softmax, чтобы он мог поддерживать очень большой словарный запас. Вторая категория использует информацию из контекста. В частности, применительно к задаче машинного перевода, система учится указывать некоторые слова в исходном предложении и копировать их в целевое предложение [6]. В этой работе авторы определяют новую методологию, которая устраняет это узкое место и предоставляет крупномасштабные контролируемые данные о понимании прочитанного. Это позволяет разработать класс глубоких нейронных сетей, основанных на внимании, которые учатся читать реальные документы и отвечать на сложные вопросы с минимальным предварительным знанием структуры языка. При настройке ответа на вопрос в контексте использовались заполнители для именованных объектов [7]. Третья категория подходов изменяет саму единицу ввода/вывода со слов на более низкое разрешение, такое как символы или байтовые коды [8, 9]. Главное преимущество этого подхода заключающееся в том, что может меньше страдать от проблемы неизвестных слов, обучение обычно становится намного более трудным, поскольку длина последовательностей значительно увеличивается [4].

При решении задачи дополнительного словарного запаса уделяется внимание тому, как правильно переводить дополнительный словарный запас. Для этого используются дополнительные ресурсы, такие как сопоставимые данные и тезаурус синонимов [10]. Заметным исключением является работа, в которой также уделяется внимание синтаксической и семантической роли слов вне словарного запаса и предлагается заменить слова вне словарного запаса с похожими словами во время тестирования [3, 11]. Следующем работе предложен и реализован эффективный метод решения проблемы неизвестных слов. Авторы предлагает решить проблему редких слов, обучив систему NMT отслеживать происхождение неизвестных слов в целевых предложениях. Если бы мы знали исходное слово, отвечающее за каждое неизвестное целевое слово, мы могли бы ввести этап постобработки, который заменил бы каждое UNK в выводе системы переводом исходного слова, используя словарь или перевод идентичности. Авторы обучили систему NMT на данных, которые были дополнены выходными данными алгоритма выравнивания слов, который позволял системе NMT отображать для каждого слова вне словаря в целевом предложении позицию соответствующего ему слова в исходном предложении. Эта информация была позже использована при постобработке фаза, которая переводит каждое слово вне словаря с помощью словаря [6].

В работе предлагается метод обработки редких и неизвестных слов для моделей нейронных сетей с использованием механизма внимания. Их модель использует два слоя softmax для предсказания следующего слова в моделях условного языка: один предсказывает местоположение слова в исходном предложении, а другой предсказывает слово в словаре краткого списка. На каждом временном шаге решение о том, какой слой softmax использовать, адаптивно принимает многослойный перцептрон, который зависит от контекста [12]. Для решения проблемы неизвестных слов предлагается метод замены-перевода-восстановления [13]. На этапе подстановки редкие слова в тестовом предложении заменяются по подобным словарным словам на основе модели подобия, полученной из одноязычных данных. На этапах перевода и восстановления предложение будет переведено с помощью модели, обученной новым двуязычным данным с заменой редких слов [4].

Как только слово объявляется неизвестным, оно проверяется на предмет возможного имени или аббревиатуры с помощью некоторых эвристических методов. Некоторые из распространенных эвристик, используемых для английского языка, заключаются в том, что

• Физико-математические науки

имена собственные начинаются с верхнего регистра, все акронимы в верхнем регистре. После этого начинается процесс определения типа неизвестного слова [2].

Описание модели задачи определения неизвестных слов при постредактировании машинного перевода. Описание модели задачи определения неизвестных слов при постредактировании машинного перевода. Определение типа неизвестного слова:

Система перевода на основе правил обычно состоит из следующих общих шагов:

- Морфологический анализ каждого слова в исходном предложении;
- Разбор входного исходного предложения на основе синтаксических категорий, полученных морфологическим анализатором;
- Преобразование дерева синтаксического анализа, полученного выше, в целевое дерево;

- Создание текста на целевом языке из преобразованного дерева;

Точно так же система перевода на основе примеров обычно состоит из следующих общих шагов:

- Морфологический анализ каждого слова в исходном предложении;

• Нахождение исходного предложения в базе примеров, имеющего минимальное расстояние с исходным предложением ввода, на основе используемых критериев расстояния. Это расстояние обычно вычисляется на основе синтаксической и семантической информации, полученной морфологическим анализатором и поиском по словарю и генерируя текст на целевом языке.

Неизвестное слово обнаруживается морфологическим анализатором. Морфологический анализатор пытается извлечь корневое слово в соответствии с грамматическими правилами [5]. Затем выполняется поиск данного слова и его корня в корпусе сделанное для казахского языка, известной терминологии и сокращении. Если запись найдена, ее синтаксическая категория и другая информация извлекается из корпуса или списков и отправляется для дальнейшей обработки. Возможно, что этот процесс может дать более одной категории и значения. В случае если соответствующая запись не найдена в словаре или известных списках, она объявляется неизвестной. Как только слово объявляется неизвестным, оно проверяется на предмет возможного имени или аббревиатуры с помощью некоторых эвристических методов. Некоторые из распространенных эвристик, используемых для английского языка, заключаются в том, что имена собственные начинаются с верхнего регистра, все акронимы в верхнем регистре. После этого начинается процесс определения типа неизвестного слова [2]. В случае системы перевода, основанной на правилах, на этапе синтаксического анализа, если подходит более одной категории для неизвестного слова, используются дополнительные эвристики для выбора наиболее перспективной. Суффиксы типа «ing», «d», «ed» или «en» предполагают, что они могут быть производными от глагола. Точно так же неизвестное слово с суффиксом «ous» или «ly» предполагает, что это слово могло быть наречием. Если проблема все еще остается нерешенной, присваивается категория в соответствии с наиболее частым деревом синтаксического анализа. Определение категории неизвестного слова в случае подхода на основе примеров является простой задачей сопоставления и вычисления расстояния. Очевидно, потребуется большее количество поисков, поскольку поиск должен выполняться для каждой постулируемой категории неизвестное слово.



Рисунок 1. Модель задачи определения неизвестных слов при постредактировании машинного перевода

На рисунке 1 показано модель задачи определения неизвестных слов при постредактировании машинного перевода англо-казахского и русско-казахского языка. Алгоритм работы:

1. Дан исходный текст на английском или на русском языке.
2. Система машинного перевода переводит исходный текст.
3. Переведенный текст с помощью системы машинного перевода передается на NLTK(Tokenizer). С помощью NLTK(Tokenizer) разделим текст на отдельные слова.
4. После разделение предложений на отдельные слова эти слова обрабатывается с помощью морфологического анализатора.
5. Tagger анализирует отдельные слова, с помощью морфологического анализатора и пометить слова.
6. Необработанные неизвестные слова хранятся в отдельном файле.

С помощью этой модели улучшиться качество перевода, но не все слова найденные в корпусе могут гарантировать хороший перевод с контекстом неизвестного слова, поскольку им обычно не хватает соответствующей словарной записи. Таким образом, если найденное слово в корпусе объединение контекста неизвестного слова соответствует записи в таблице фраз, это облегчит лексический выбор и переупорядочение слов в окружающих словах.

Созданный морфологический анализатор был взять в основу морфологического анализатора сделанное в «nlacslab» [4]. Морфологический анализатор возвращает для данного слова следующий триплет: *<словарная форма>*, *<часть речи>* и *<грамматические характеристики>*, т.е. все возможные анализы. Морфологический анализатор, включенный в текущую работу, представляет собой реализацию анализатора, управляемого данными.

Поиск неизвестных слов в словарном запасе

По данным оценки и данных обучения мы можем легко отличить неизвестные слова от слов в словарном запасе. Предположим, что набор неизвестных слов - это UW , а набор слов в словаре - это IW . Для каждого неизвестного слова UW наша цель - найти наиболее подходящее слово IW^* из IW , чтобы IW^* имел наиболее похожую семантическую функцию с UW . С помощью функции подобия, определенной выше, можем использовать следующую формулу для достижения нашей цели:

$$IW^* = \operatorname{argmax}_{IW} \operatorname{Sim}(UW, IW) \quad (1)$$

Однако мы обнаружили, что использование этой формулы без каких-либо ограничений обычно не дает хороших результатов. Следовательно, мы требуем, чтобы получившееся словарное слово IW^* имело согласованную часть речи с неизвестным словом UW . Соответственно, формула поиска будет такой:

$$IW^* = \operatorname{argmax}_{IW \in \{IW' | \operatorname{POS}(IW) \cap \operatorname{POS}(UW) \neq \emptyset\}} \operatorname{Sim}(UW, IW) \quad (2)$$

Следует отметить, что наша конечная цель - улучшить качество перевода, но не все слова, найденные в словарном запасе с использованием формулы (2), могут гарантировать хороший перевод с контекстом неизвестного слова, поскольку им обычно не хватает соответствующей словарной записи в таблице фраз перевода. Таким образом, если найденное слово в словаре объединение контекста неизвестного слова соответствует записи в таблице фраз, это облегчит лексический выбор и переупорядочение слов в окружающих словах.

Практические результаты и программная реализация модели. Перевод и разделение сплошного текста на отдельные слова, исходный текст на английском языке и на русском языке. С помощью системы машинного перевода *googletrans* использованная в этом работе текст был переведен. Переведенный текст с помощью системы машинного перевода передается на NLTK(Tokenizer). Разделим текст на отдельные слова с помощью NLTK(Tokenizer).

После нормализации текст обрабатывается с помощью морфологического анализатора. Теггер анализирует разделенные слова, с помощью морфологического анализатора и пометить слова показано рисунке 2.

```
input sentence:
['базалық', 'денгейде', 'М', 'Т', 'бір', 'тілдегі', 'сөздерді', 'басқа', 'тілдегі', 'сөздерге', 'механикалық', 'ауыстыруды', 'жүзеге', 'асырады', 'аударма', 'сирек', 'көздеседі']

tagged sentence:
1) базалық      базалық_UNK
2) денгейде     денгей_R_ZE де_C5
3) М             м_UNK
4) Т             т_UNK
5) бір           бір_R_SN
6) тілдегі      тіл_R_ZE дегi_LATT
7) сөздерді    сөз_R_ZE дер_N1 ди_C4
8) басқа         бас_R_ZE қa_C3
9) тілдегі      тіл_R_ZE дегi_LATT
10) сөздерге   сөз_R_ZE дер_N1 гe_C3
11) механикалық  механикалық_UNK
12) ауыстыруды  ауыс_R_ET тыр_V4 у_ET_ETU ды_C4
13) жүзеге       жүзe_R_ZE гe_C3
14) асырады     асыр_R_ET а_T1 ды_P3
15),             ,_R_UTR
16) бірақ         бірақ_R_ZHL
17) тек           тек_R_US
18) жақсы        жақсы_R_SE
19) аударма     аударма_R_ZE
20) сирек        сирек_R_US
21) көздеседі   көздес_R_ET e_T1 ди_P7
```

Рисунок 2. Морфологический анализ текста и неизвестные слова

Теггер выбирает анализ, наиболее подходящий для данного контекста.

создать экземпляр морфологического анализатора

analyzer = AnalyzerDD()

загрузить каталог модели, расположенный в каталоге морфологии

analyzer.load_model (os.path.join ('kaznlp', 'morphology', 'mdl'))

wrd = 'ғалымы'

На рисунке 3 показан анализ заданного слова, для этого мы вызываем метод анализа со словом в качестве аргумента. метод возвращает кортеж (iscovered, alist), где iscovered - логическое значение, указывающее, было ли слово принято анализатором, alist - список результатов анализа, необработанные слова получат тег _UNK.

"**фалымы**" is covered by the analyzer.
Analyses are:
1) **фалым_R_ZE **ы_S3****

Рисунок 3. Анализ заданного слова

После анализа текста каждая слова получать. Каждый тэг имеет свое собственное обозначение, например, тег «R_ZE» - это существительное. Все данные исходного текста, переведенного текста, текст после морфологического анализа и неизвестные слова записывается в файлы. Работа написано на языке программирования Python и с помощью набора библиотек обработки текста. Последние результаты нахождения неизвестных слов с помощью морфологического анализатора поиск неизвестных слов для англо-казахского перевода составлен из 1000 предложений, взято более чем 18000 слов, в результате процент неизвестных слов составил 15%, а на втором поиске неизвестных слов было взято около 37000 слов в результате процент неизвестных слов составил 15,7%. Последние результаты нахождения неизвестных слов с помощью морфологического анализатора поиск неизвестных слов для русско-казахского перевода составлен из 1000 предложений, взято более чем 21693 слов, в результате процент неизвестных слов составил 14,02%, а на втором поиске неизвестных слов было взято около 43767 слов в результате процент неизвестных слов составил 14,12%.

Таблица 1 - Результаты экспериментов по решению задачи неизвестных слов для англо-казахской и русско-казахской пары языков

Языковая пара Обработка	англо-казахская		русско-казахская	
Количество слов	18618	36999	21693	43767
Неизвестные слова	2800	5800	3042	6182
Процент неизвестных слов	15,04 %	15,67 %	14,02 %	14,12 %

Результаты нахождения неизвестных слов с помощью морфологического анализатора поиск неизвестных слов для англо-казахского перевода и для русско-казахского перевода, в поиске неизвестных слов было взято около 35000-45000 слов в результате процент нахождение неизвестных слов составил в среднем 14,5%. Таблице 1 результаты экспериментов по решению задачи неизвестных слов при постредактировании машинного перевода для англо-казахской и русско-казахской пары языков.

• Физико-математические науки

Заключение. В результате выполненных исследований были получены следующие результаты научно-технической деятельности:

- проведен обзор существующих методов нахождение неизвестных слов в постредактировании;
- разработана модель определения неизвестных слов в постредактировании машинного перевода;
- создан морфологический анализатор обработки слов для казахского языка;
- получены экспериментальные данные нахождения неизвестных слов в постредактировании машинного перевода для англо-казахской и русско-казахской языковой пары.

В итоге разработана модель и программная решения задачи неизвестных слов при постредактировании машинного перевода. Дальнейшее применение полученных результатов позволить улучшить процесс анализа текста на казахском языке, работу системы машинного перевода и постредактирования.

Благодарность. Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках научного проекта АР08052421 «Исследование и разработка системы постредактирования казахского языка в машинном переводе».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Matthias E., Stephan V., Alex W. Communicating Unknown Words in Machine Translation // 2014
- [2] R. M. K. Sinha. Dealing with unknowns in machine translation // IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. e-Systems and e-Man for Cybernetics in Cyberspace (Cat.No.01CH37236), Tucson, AZ, USA, P. 940-944
- [3] Zhang J., Zhai F., Zong Ch. Handling unknown words in statistical machine translation from a new perspective //Proceedings of the First CCF Conference Natural Language Processing and Chinese Computing P. 176–187 (2012)
- [4] Turganbayeva A., Tukeyev U. The Solution of the Problem of Unknown Words Under Neural Machine Translation of the Kazakh Language // In: Intelligent Information and Database Systems 12th Asian Conference, P. 319–328 (2020)
- [5] O. Makhambetov, A. Makazhanov, I. Sabyrgaliyev, Zh. Yessenbayev. Data-driven morphological analysis and disambiguation for Kazakh // InInternational Conference on Intelligent Text Processing and Computational Linguistics 2015, pp. 151-163.
- [6] Luong M.T., Sutskever I., Le Q.V., Vinyals O., Zaremba W.: Addressing the rare word problem in neural machine translation // Proceedings of the 53rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 7th International Joint Conference on Natural Language Processing, pp. 11–19 (2015)
- [7] Hermann K.M. Teaching machines to read and comprehend // Proceedings of the 28th International Conference on Neural Information Processing Systems, pp. 1693–1701 (2015)
- [8] Generating sequences with recurrent neural networks // <https://arxiv.org/pdf/1308.0850.pdf>. (дата обращения: 24.09.2020).
- [9] Sennrich R., Haddow B., Birch A. Neural machine translation of rare words with subword units // Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, pp. 1715–1725 (2016)
- [10] Marton Y., Callison-Burch Ch., Resnik Ph.: Improved statistical machine translation using monolingually-derived paraphrases // Proceedings of the 2009 Conference on Empirical Methods in Natural Language, pp. 381–390 (2009)
- [11] Zhang J., Zhai F., Zong Ch.: A substitution-translation-restoration framework for handling unknown words in statistical machine translation // J. Comput. Sci. Technol. 28(5), 907–918 (2013)
- [12] Gulcehre C., Ahn S., Nallapati R., Zhou B., Bengio Y.: Pointing the unknown words // Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, pp. 140–149 (2016)
- [13] Li X., Zhang J., Zong C.: Towards zero unknown word in neural machine translation // Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 2852–2858. AAAI Press (2016)

Д.Р. Рахимова, Н.М. Пазылхан*, А.А. Кульжанова, Ж.Г. Ален
әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
*e-mail: npazylhan@gmail.com

ПОСТРЕДАКЦИЯЛЫҚ МАШИНАЛЫҚ АУДАРМАДА БЕЛГІСІЗ СӨЗДЕРДІ АНЫҚТАУ МӘСЕЛЕСІНІҢ МОДЕЛІ МЕН БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ШЕШІМІН ЖАСАУ

Андратпа. Машиналық аударма - компьютерлік бағдарламамен мәтіндерді бір тілден екінші тілге дәйекті түрде аудару технологиясы. Машиналық аударманың нәтижесінде әрдайым белгілі бір кемшіліктер бар, бұл мәселені постредакциялау арқылы шешуге болады. Пост-редакциялау - машиналық аудармадан кейін адамның мәтінді өңдеуі. Бұғынгі таңда көптеген лингвистикалық провайдерлер осы саланы белсенді дамытуда, редакторларды оқытудың әдістері мен постредакциялау әдістерін дамытуда. Макалада постредакциялық машиналық аудармада белгісіз сөздерді табудың қолданыстағы әдістеріне шолу жасайды. Бұл жұмыста біз казак тіліне арналған постредакциялық машиналық аудармада белгісіз сөздерді табудың қолданыстағы әдістеріне талдау жүргізіледі. Ағылшын-қазақ және орыс-қазақ тілдеріне арналған постредакциялық машиналық аудармада белгісіз сөздерді табу моделі, практикалық нәтижелер және бағдарламалық қамтамасыз ету ұсынылған.

Негізгі сөздер: машиналық аударма, NLTK, морфологиялық талдау, белгісіз сөздер, постредакциялық машиналық аударма.

D.R. Rakhimova, N.M. Pazylkhan*, A.A. Kulzhanova, Zh.G. Alen
al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan
*e-mail: npazylhan@gmail.com

DEVELOPMENT OF A MODEL AND SOFTWARE SOLUTION FOR THE PROBLEM OF DETERMINING UNKNOWN WORDS IN POST-EDITING MACHINE TRANSLATION

Abstract. Machine translation is the technology of consecutive translation of texts from one language to another by a computer program. As a result of machine translation, there are always certain disadvantages that can be solved by post-editing. Post-editing-human processing of text after machine translation. Today, many language providers are actively developing this field, developing methods of training editors and post-editing methods. The article provides an overview of existing methods for finding unknown words in post-editing machine translation. In this paper, we consider the problem of determining unknown words in post-editing machine translation for the Kazakh language. The analysis of existing methods for finding unknown words in post-editing machine translation is carried out. A model for the development of unknown words in post-editing machine translation for the English-Kazakh and Russian-Kazakh languages, practical results and software implementation are presented.

Keywords: machine translation, NLTK, morphological analysis, unknown words, machine translation post-editing.

А. Сакабеков, Е. Аужани
Satbayev University, Алматы, Казахстан
auzhani@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ УРАВНЕНИЯ БОЛЬЦМАНА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Аннотация. В работе приведен вывод новой одномерной нестационарной нелинейной системы моментных уравнений, зависящей от скорости движения и температуры поверхности летательного аппарата, а также аппроксимация микроскопического условия Максвелла на подвижной границе, когда часть молекул отражается от поверхности зеркально, а часть – диффузно с максвелловским распределением. При этом макроскопические граничные условия для моментной системы уравнений зависят от четности и нечетности приближения $f_k(t, x, v)$, где $f_k(t, x, v)$ – частичная сумма разложения функции распределения молекул по собственным функциям линеаризованного оператора столкновений. Данна постановка начально-краевой задачи для системы моментных уравнений в третьем приближении при макроскопических граничных условиях Максвелла-Аужана. Для анализа аэродинамических характеристик летательных аппаратов в переходном режиме используется полное интегро-дифференциальное уравнение Больцмана, содержащее слагаемое, зависящее от скорости движения летательных аппаратов, при микроскопических граничных условиях Максвелла, зависящее от температуры поверхности летательных аппаратов.

Ключевые слова: Уравнение Больцмана, система моментных уравнений, микроскопическое условие Максвелла.

Введение. Динамика разряженного газа изучает явления, имеющие место при произвольном отношении длины пробега молекул к характерному размеру явления. Исследование таких явлений требует в общем случае учета молекулярной структуры газов. В круг задач динамики разреженных газов входят, например, задачи об обтекании летательных аппаратов, движущихся на больших высотах, о движении газов в вакуумных аппаратах и прочие задачи [1]. Основным инструментом кинетического описания газов является одночастичная функция распределения, которая удовлетворяет уравнению Больцмана. Применение кинетической теории к расчету течений разряженного газа около летательных аппаратов предполагает решение уравнения Больцмана при соответствующих граничных условиях.

Прогнозирование аэродинамических характеристик летательных аппаратов при высоких скоростях и на больших высотах является актуальной проблемой аэрокосмической техники. Они могут быть определены методами теории разряженного газа [1]. Описание разряженного газа с помощью функции распределения частиц относится к переходной области между течением сплошной среды и свободно молекулярным течением, и представляет собой не тривиальную задачу.

При расчете аэродинамических характеристик летательного аппарата в высокоскоростном потоке разряженного газа в уравнение Больцмана необходимо внести слагаемое, зависящее от скорости движения летательного аппарата, а условие на подвижной границе должно содержать параметр, зависящий от температуры поверхности летательного аппарата.

Для анализа аэродинамических характеристик летательных аппаратов в переходном режиме используется полное интегро-дифференциальное уравнение Больцмана

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \left(c, \frac{\partial f}{\partial x} \right) + \left(U, \frac{\partial f}{\partial x} \right) = J(f, f),$$

где $f = f(t, x, v)$ - функция распределения частиц в пространстве по времени и скоростям, $c = v - U$ - относительная скорость, $U = (U_1, U_2, U_3)$ - скорость полета летательного аппарата, $J(f, f)$ - интеграл столкновений. Уравнение Больцмана изучается при соответствующих граничных условиях, которым должна удовлетворять функция распределения частиц на подвижной поверхности твердого тела. Определение граничных условий на поверхностях, обтекаемых разряженным газом, является одним из важнейших вопросов кинетической теории газов. В высотной аэродинамике важную роль играет взаимодействие газа с поверхностью обтекаемого тела [2]. Аэротермодинамические характеристики тел в потоке газа определяются передачей импульса и энергии к поверхности тела, то есть связью между скоростями и энергиями молекул, падающих на поверхность, и молекул, отраженных от нее, что является сущностью кинетических граничных условий на поверхности. Граничное условие Максвелла для решения конкретных задач более точно описывает взаимодействие молекул газа с поверхностью. Одним из приближенных методов решения начально-краевой задачи для уравнения Больцмана является моментный метод. С помощью моментного метода можно определить аэродинамические характеристики летательных аппаратов, такие как атмосферные параметры, скорость полета, геометрические параметры и тому подобное. Отметим, что в работе [3] были предложены две новые модели граничных условий: диффузно-моментная и зеркально-моментная, обобщающие известные граничные условия Черчиньи, а в [4] были изучены аэродинамические характеристики космических аппаратов методом прямого статического моделирования (метод Монте-Карло) и различные модели взаимодействия газа с поверхностью и их влияние на аэродинамические характеристики.

Моментные методы отличаются друг от друга выбором различных систем базисных функций. Например, Грэд [5], [6] при получении моментной системы для однородного уравнения Больцмана раскладывал функцию распределения частиц по полиномам Эрмита около локального максвелловского распределения. Грэд пользовался декартовыми координатами скоростей, и моментная система Грэда содержала в качестве коэффициентов такие неизвестные гидродинамические характеристики, как плотность, температура, среднюю скорость и др. В [7]-[8] нами получена моментная система, отличающаяся от системы уравнений Грэда, при этом мы пользовались сферическими координатами скоростей и раскладывали функцию распределения в ряд по собственным функциям линеаризованного оператора столкновений [1], [9], являющимся произведением полиномов Сонина и сферических функций. Коэффициенты разложения, моменты функции распределения определялись иначе, чему Грэда. Полученная система уравнений, соответствующая частичной сумме ряда, которую мы называли системой моментных уравнений Больцмана, является нелинейной гиперболической системой относительно моментов функции распределения частиц. Дифференциальная часть полученной системы является линейной, а нелинейность входит как квадратичные формы моментов функции распределения. Квадратичные формы – моменты нелинейного интеграла столкновений – вычислены в работе [10] и выражаются через коэффициенты Тальми [11] и Клебша-Гордона [12]. В [5-8] предполагается, что движение газа происходит в ограниченной области с неподвижной границей.

В [13]-[14] получены моментные системы для пространственно-однородного уравнения Больцмана и условия представимости решения пространственно-однородного уравнения Больцмана в виде ряда Пуанкаре. Заметим, что предложенный в [13] способ (применение преобразования Фурье по скоростной переменной в изотропном случае) сильно упростил интеграл столкновений и, следовательно, вычисление моментов от интеграла столкновений. В работе [14] обобщен результат работы [13] для случая анизотропного рассеяния. В [15]

приведен вывод систематической невозмущенной иерархии замкнутой системы моментных уравнений, соответствующих классической теории. Эта статья является фундаментальной работой, описывающей замкнутую систему моментных уравнений в переходном режиме.

Уравнение Больцмана эквивалентно бесконечной системе дифференциальных уравнений в частных производных относительно моментов функции распределения частиц в силу полноты системы собственных функций линеаризованного оператора. На практике ограничиваются изучением конечной системы уравнений.

Конечная система моментных уравнений для конкретной задачи с некоторой степенью точности заменяет уравнение Больцмана. Необходимо, также приближенно, заменить граничные условия для функции распределения частиц некоторым числом макроскопических условий для моментов, т.е. возникает задача постановки граничных условий для конечной системы уравнений, аппроксимирующих микроскопические граничные условия для уравнения Больцмана. Вопрос постановки граничных условий для конечной системы моментных уравнений можно разбить на две части: сколько условий надо наложить и как они должны быть получены. Из микроскопических граничных условий для уравнения Больцмана можно получить бесконечное множество граничных условий для любого типа разложения. Однако число граничных условий определяется не числом моментных уравнений, т.е. нельзя, например, брать столько граничных условий, сколько уравнений, хотя число моментных уравнений влияет на количество граничных условий. Кроме того, граничные условия должны быть согласованы с моментными уравнениями, и полученная задача должна быть корректной.

Грэд [5] описал конструкцию бесконечной последовательности граничных условий, не пытаясь согласовывать порядки аппроксимаций разложения граничного условия и разложения уравнения Больцмана. Постановка граничных условий даже для одномерной системы уравнений Грэда представляет очень трудную задачу, т.к. моментная система уравнений Грэда является гиперболической системой, причем эта система уравнений содержит в качестве коэффициентов такие неизвестные параметры, как плотность, температура, среднюю скорость и др. При этом характеристическое уравнение также зависит от неизвестных параметров и, следовательно, сформулировать граничные условия для моментной системы весьма сложно. В работе [16] обсуждены вопросы постановки граничных условий для 13-моментной системы Грэда.

В [7-8] аппроксимировано однородное граничное условие для функции распределения частиц и доказана корректность начально-краевой задачи для нестационарной нелинейной системы моментных уравнений Больцмана в трехмерной области, ограниченной неподвижной границей. Более точно, доказано существование единственного обобщенного решения начально-краевой задачи для системы моментных уравнений Больцмана в пространстве функций, непрерывных по времени и суммируемых в квадрате по пространственным переменным.

Выход системы моментных уравнений и аппроксимация микроскопического граничного условия Максвелла

В случае течения газа около движущегося твердого тела граничные условия задаются в виде соотношения между падающими на границу частиц и частицами отраженными от границы. Если начальное распределение молекул газа известно, то дальнейшая эволюция газа описывается интегро-дифференциальным уравнением Больцмана. Тем самым задача сводится к решению начально-краевой задачи для уравнения Больцмана в области с подвижной границей. Начально-краевую задачу для одномерного нестационарного уравнения Больцмана, учитывающего скорость движения летательного аппарата при условиях Максвелла на подвижной границе будем аппроксимировать соответствующей задачей для системы моментных уравнений. Мы приведем вывод новой одномерной нестационарной нелинейной системы моментных уравнений, которая зависит от скорости

движения и температуры поверхности летательного аппарата, а также аппроксимацию микроскопического условия Максвелла на подвижной границе. Проблема аппроксимации Максвелловского микроскопического граничного условия на неподвижной границе в случае нестационарного одномерного нелинейного уравнения Больцмана решена в [17]. В заключение приведем постановку начально-краевой задачи для системы моментных уравнений в третьем приближении.

Теорема существования глобального по времени решения начально-краевой задачи для 3-хмерного нелинейного уравнения Больцмана при граничных условиях Максвелла доказана в [18].

Постановка задачи. Найти решение следующей начально-краевой задачи для однородного одномерного уравнения Больцмана [1]

$$\frac{\partial f}{\partial t} + |c| \cos \theta \frac{\partial f}{\partial x} + U_3 \frac{\partial f}{\partial x} = J(f, f), t \in (0, T], x \in (-a, a), c \in R_3^c \quad (1)$$

$$f|_{t=0} = f^0(x, c), (x, c) \in (-a, a) \times R_3^c \quad (2)$$

$$f^+(t, x, |c| \cos \theta) = \beta f^-(t, x, -|c| \cos \theta) + (1 - \beta) \exp \left(-\frac{|c|^2}{2R\Theta} \right),$$

$$(n, c) = (n, |c| \cos \theta) > 0, x = -a \text{ или } x = a, \quad (3)$$

где $f \equiv f(t, x, c)$ – функция распределения частиц в пространстве по скорости и времени;

$f^0 \equiv f^0(x, c)$ – распределение частиц в начальный момент времени (заданная функция);

$J(f, f) \equiv \int [f(c')f(c'_1) - f(c)f(c_1)]\sigma(\cos \chi)dc_1dc$ – нелинейный оператор столкновений, записанный для максвелловских молекул, n – внешний единичный нормальный вектор границы, $c = v - U$.

Условие (3) является естественным граничным условием для уравнения Больцмана, которое дает возможность определить отраженную половину функции распределения f , если известна половина, соответствующая падающим частицам. Согласно условию (3) определенная часть падающих частиц отражается зеркально, а остальные частицы абсорбируются стенкой и испускаются в последующем с максвелловским распределением, соответствующим температуре стенки $\Theta \cdot \alpha^2 = \frac{1}{R\Theta}$ является также функцией от времени и координат.

Формула (3) написана в предположении, что граница (стенка или поверхность) движется со скоростью U_3 . $|c| \cos \theta$ скорость падающих на границу частиц, $-|c| \cos \theta$ скорость отраженных от границы частиц. Задача (1)-(3) записана в системе координат, связанной с движущейся стенкой, причем скорость движения является функцией от времени и координат, т.е. $U_3 = U_3(t, x)$.

Для одномерных задач собственные функции линеаризованного оператора имеют вид [1], [9]:

$$g_{nl}(\alpha c) = \gamma_{nl} \left(\frac{\alpha |c|}{\sqrt{2}} \right)^l S_n^{l+1/2} \left(\frac{\alpha^2 |c|^2}{2} \right) P_l(\cos \theta),$$

$$2n + l = 0, 1, 2, \dots,$$

где $\gamma_{nl} = \sqrt{\frac{\sqrt{\pi} n! (2l+1)}{2\Gamma(n+l+3/2)}}$ – нормировочный коэффициент, $S_n^{l+1/2} \left(\frac{\alpha^2 |c|^2}{2} \right)$ – полиномы Сонина, $P_l(\cos \theta)$ – полиномы Лежандра, Γ – гамма функция.

Для нахождения приближенного решения задачи (1)-(3) применим метод Галеркина. Определим приближенное решение одномерной задачи (1)-(3) следующим образом:

$$f_k(t, x, c) = f_0(\alpha |c|) \sum_{2n+l=0}^k f_{nl}(t, x) g_{nl}(\alpha c) \quad (4)$$

$$\int_{R_3^c} \left(\frac{\partial f_k}{\partial t} + |c| \cos \theta \frac{\partial f_k}{\partial x} + U_3 \frac{\partial f_k}{\partial x} - J(f_k, f_k) \right) g_{nl}(\alpha c) dc = 0$$

$$2n + l = 0, 1, 2, \dots, k, (t, x) \in (0, T] \times (-a, a) \quad (5)$$

$$\int_{R_3^c} [f_k(0, x, c) - f_k^0(x, c)] g_{nl}(\alpha c) dc = 0$$

$$2n + l = 0, 1, 2, \dots, k, x \in (-a, a) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & \int_{(n,c)>0} (n, c) f_{2N+1}^+(t, x, c) g_{n,2l}(\alpha c) dc - \beta \int_{(n,c)<0} (n, c) f_{2N+1}^-(t, x, c) g_{n,2l}(\alpha c) dc \\ & - (1 - \beta) \int_{(n,c)<0} (n, c) \exp\left(-\frac{|c|^2}{2RT_0}\right) g_{n,2l}(\alpha c) dc = 0 \end{aligned}$$

$$2(n + l) = 0, 2, \dots, 2N, x = -a \text{ или } x = a, \quad (7)$$

при $k = 2N + 1$,

$$\begin{aligned} & \int_{(n,c)>0} (n, c) f_{2N}^+(t, x, c) g_{n,2l+1}(\alpha c) dc - \\ & - \beta \int_{(n,c)<0} (n, c) f_{2N}^-(t, x, c) g_{n,2l+1}(-\alpha c) dc - \\ & - (1 - \beta) \int_{(n,c)<0} (n, c) \exp\left(-\frac{|c|^2}{2RT_0}\right) g_{n,2l+1}(-\alpha c) dc = 0, \end{aligned}$$

$$2(n + l) + 1 = 1, 3, \dots, 2N - 1, x = -a \text{ или } x = a, \quad (8)$$

при $k = 2N$,

где $n = (0, 0, 1)$ при $x = a$ и $n = (0, 0, -1)$ при $x = -a$;

$f_0(\alpha|c|) = (\alpha^2/2\pi)^{3/2} \exp(-\alpha^2 c^2/2)$ – локальное максвелловское распределение;

$$f_{nl}(t, x) = \int_{R_3^c} f_k(t, x, c) g_{nl}(\alpha c) dc, \quad (9)$$

$$f_k^0(x, c) = f_0(\alpha|c|) \sum_{2n+l=0}^k f_{nl}^0(x) g_{nl}(\alpha c) dc, \quad (10)$$

$$f_{nl}^0(x) = \int_{R_3^c} f_k^0(x, c) g_{nl}(\alpha c) dc. \quad (11)$$

Аппроксимация граничного условия (3) с помощью равенств (7) и (8) аналогична аппроксимации микроскопического граничного условия Максвелла при постоянном значении α . Заметим, что аппроксимация граничного условия зависит от четности или нечетности приближения k . При аппроксимации микроскопического граничного условия мы учитывали аппроксимацию уравнения Больцмана моментными уравнениями. Тем самым, порядки аппроксимации для разложения граничного условия и разложения уравнения

Больцмана согласованы. Макроскопические условия (7) и (8) были названы граничными условиями Максвелла-Аужана [17].

Равенство (5) перепишем в виде

$$\begin{aligned} \int_{R_3^c} \left(\frac{\partial f_k}{\partial t} + |c| \cos \theta \frac{\partial f_k}{\partial x} + U_3 \frac{\partial f_k}{\partial x} - J(f_k, f_k) g_{nl}(\alpha c) \right) dc = \\ = \int_{R_3^c} \left\{ \frac{d}{dt} (f_k g_{nl}) + \frac{\partial}{\partial x} (|c| \cos \theta f_k g_{nl}) - \right. \\ \left. - f_k \left[\frac{d}{dt} (g_{nl}) + \frac{\partial}{\partial x} (|c| \cos \theta g_{nl}) \right] - J(f_k, f_k) g_{nl} \right\} dc = 0, \end{aligned} \quad (12)$$

где $\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + U_3 \frac{\partial}{\partial x}$.

Используя известные соотношения для полиномов Сонина и Лежандра [19]

$$y S_n^{\beta+1}(y) = (n + \beta + 1) S_n^{\beta}(y) - (n + 1) S_{n+1}^{\beta}(y),$$

$$S_n^{\beta-1}(y) = S_n^{\beta}(y) - S_{n-1}^{\beta}(y),$$

$$\mu P_l(\mu) = \frac{1}{2l+1} [(l+1)P_{l+1}(\mu) - lP_{l-1}(\mu)],$$

а также определения коэффициентов f_{nl} и γ_{nl} получим следующую систему моментных уравнений относительно коэффициентов $f_{nl}(t, x)$ (здесь мы опускаем громоздкие вычисления):

$$\begin{aligned} \frac{df_{nl}}{dt} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{l}{\alpha} \left(\sqrt{\frac{2(n+l+1/2)}{(2l-1)(2l+1)}} f_{n,l-1} - \sqrt{\frac{2(n+1)}{(2l-1)(2l+1)}} f_{n+1,l-1} \right) + \right. \\ \left. + \frac{l+1}{\alpha} \left(\sqrt{\frac{2(n+l+1/2)}{(2l+1)(2l+3)}} f_{n,l+1} - \sqrt{\frac{2n}{(2l+1)(2l+3)}} f_{n-1,l+1} \right) \right] \\ + \frac{d \ln \alpha}{dt} b_1(f_{nl}) + \alpha \frac{d U_3}{dt} b_2(f_{nl}) + \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \ln \alpha}{\partial x} [(l+2n) b_3(f_{nl}) - \\ - 2 \sqrt{n(n+l+1/2)} b_3(f_{n-1,l})] + \frac{\partial U_3}{\partial x} b_4(f_{nl}) = J_{nl}, \\ 2n+l = 0,1,2,\dots,k, \end{aligned} \quad (13)$$

$$\frac{d}{dt} \equiv \frac{\partial}{\partial t} + U_3 \frac{\partial}{\partial x},$$

$$b_1(f_{nl}) = (2n+l) f_{nl} - 2 \sqrt{n(n+l+1/2)} f_{n-1,l};$$

$$\begin{aligned} b_2(f_{nl}) = \frac{(l+1)\sqrt{2}}{(2l+1)(l+2)} \sqrt{\frac{2l+1}{2l+3}} \left[-(2n+l) \sqrt{n} f_{n-1,l+1} + 2 \sqrt{n(n-1)(n+l+1/2)} f_{n-2,l+1} \right] \\ - \frac{2(2n+l)\gamma_{nl}}{(2l+1)(l+2)\alpha^3} \left[2l \left((n+l+1/2) I_{n-1,l-1} - n I_{n,l-1} \right) - D_{nl} \right] \\ - \frac{4(n+l+1/2)\gamma_{nl}}{(2l+1)(l+2)\alpha^3} \left[2l \left((n+l-1/2) I_{n-2,l-1} - (n-1) I_{n-1,l-1} \right) - D_{1,nl} \right]; \end{aligned}$$

Для интегралов имеет место следующая рекуррентная формула

$$\begin{aligned}
 I_{n,l-1} &= \frac{2(n+l+1/2)}{2n+l+2} I_{n-1,l-1} + \frac{1}{2n+l+2} D_{1,nl}; \\
 D_{nl} &= \sum_{2N+L=0}^k f_{NL}(t, x) \int_{R_s^c} f_0 \left(\frac{\alpha|c|}{\sqrt{2}} \right)^{l+1} S_n^{l+1/2} \left(\frac{\alpha^2 c^2}{2} \right) [(l+1)P_{l+1} + lP_{l-1}] \times \\
 &\quad \times \left[-(\alpha|c|)^2 g_{NL} + (L+2N)g_{NL} - 2(N+L+1/2) \frac{\gamma_{NL}}{\gamma_{N-1,L}} g_{N-1,L} \right] d \left(\frac{\alpha|c|}{\sqrt{2}} \right) d\mu d\varphi, \\
 D_{1,nl} &= \sum_{2N+L=0}^k f_{NL}(t, x) \int_{R_s^c} f_0 \left(\frac{\alpha|c|}{\sqrt{2}} \right)^{l+1} S_n^{l+1/2} \left(\frac{\alpha^2 c^2}{2} \right) P_{l-1}(\cos\theta) \times \\
 &\quad \times \left[-(\alpha|c|)^2 g_{NL} + (L+2N)g_{NL} - 2(N+L+1/2) \frac{\gamma_{NL}}{\gamma_{N-1,L}} g_{N-1,L} \right] d \left(\frac{\alpha|c|}{\sqrt{2}} \right) d\mu d\varphi; \\
 I_{n,l-1} &\equiv \int_{R_s^c} f_0 \left(\frac{\alpha|c|}{\sqrt{2}} \right)^{l+1} S_n^{l+1/2} \left(\frac{\alpha^2 c^2}{2} \right) P_{l-1}(\mu) f_k(t, x, c) d \left(\frac{\alpha|c|}{\sqrt{2}} \right) d\mu d\varphi; \\
 b_3(f_{nl}) &= l \left(\sqrt{\frac{2(n+l+1/2)}{(2l-1)(2l+1)}} f_{n,l-1} - \sqrt{\frac{2(n+1)}{(2l-1)(2l+1)}} f_{n+1,l-1} \right) + \\
 &+ (l+1) \left(\sqrt{\frac{2(n+l+3/2)}{(2l+1)(2l+3)}} f_{n,l+1} - \sqrt{\frac{2n}{(2l+1)(2l+3)}} f_{n-1,l+1} \right); \\
 b_4(f_{nl}) &= (2n+l \\
 &+ 1) \left[\frac{2(l+1)(l+2)}{(2l+1)(2l+3)(l+3)} \sqrt{\frac{2l+1}{2l+5}} (\sqrt{n(n+l+3/2)} f_{n-1,l+2} - \sqrt{n(n-1)} f_{n-2,l+2}) \right. \\
 &+ \frac{1}{2l+1} \left(\frac{(l+1)^2}{2l+3} + \frac{l^2}{2l-1} \right) f_{nl} + \frac{l(l-1)\gamma_{nl}}{(2l-1)(2l+1)} I_{n,l-2} - \frac{(l+1)(l+2)\gamma_{nl}}{(2l+1)(2l+3)} \partial_{n,l+2} \left. \right] - \\
 &- 2(n+l+1/2) \left[\frac{2(l+1)(l+2)}{(2l+1)(2l+3)(l+3)} \sqrt{\frac{2l+1}{2l+5}} \left(\sqrt{n(n-1)} f_{n-2,l+2} \right. \right. \\
 &- \left. \left. \sqrt{\frac{n(n-1)(n-2)}{n+l+1/2}} f_{n-3,l+2} \right) + \frac{1}{2l+1} \left(\frac{(l+1)^2}{2l+3} + \frac{l^2}{2l-1} \right) \sqrt{\frac{n}{n+l+1/2}} f_{n-1,l} \right. \\
 &+ \left. \left. \frac{l(l-1)\gamma_{nl}}{(2l-1)(2l+1)} I_{n-1,l-2} - \frac{(l+1)(l+2)\gamma_{nl}}{(2l+1)(2l+3)} \partial_{n-1,l+2} \right) \right], \\
 I_{n,l-2} &= \int_{R_s^c} \left(\frac{\alpha|c|}{\sqrt{2}} \right)^l S_n^{l+1/2} \left(\frac{\alpha^2 c^2}{2} \right) P_{l-2}(\cos\theta) f_k dc,
 \end{aligned}$$

$$I_{n,l-2} = \frac{2(n+l+1/2)}{2n+l+3} I_{n-1,l-2} + \frac{1}{2n+l+3} \partial_{n,l-2};$$

$$\partial_{n,l\pm 2} = \frac{2\sqrt{2}}{(l+3)\alpha^3} \sum_{2N+L=0}^k f_{NL}(t,x) \int_{R_3^c} f_0 \left(\frac{\alpha|c|}{\sqrt{2}} \right)^{l+2} S_n^{l+1/2} \left(\frac{\alpha^2 c^2}{2} \right) P_{l\pm 2}(\mu)$$

$$\times \left[-(\alpha|c|)^2 g_{NL} + (L+2N) g_{NL} - 2(N+L+1/2) \frac{\gamma_{NL}}{\gamma_{N-1,L}} g_{N-1,L} \right] d\left(\frac{\alpha|c|}{\sqrt{2}}\right) d\mu d\varphi.$$

Моменты J_{nl} интеграла столкновений выражаются через коэффициенты Тальми и Клебша-Гордона следующим образом [10]

$$J_{nl} = \sum \langle N_3 L_3 n_3 l_3 : l | nl00 : l \rangle \langle N_3 L_3 n_3 l_3 : l | n_1 l_1 n_2 l_2 : l \rangle (l_1 0 l_2 0 / l 0) \times$$

$$\times (\sigma_{l_3} - \sigma_0) f_{n_1 l_1} f_{n_2 l_2},$$

$\langle N_3 L_3 n_3 l_3 : l | n_1 l_1 n_2 l_2 : l \rangle$ – обобщенные коэффициенты Тальми,
 $(l_1 0 l_2 0 / l 0)$ – коэффициенты Клебша-Гордона.

Система уравнений (13) представляет собой нелинейную гиперболическую систему уравнений относительно моментов $f_{nl}(t, x)$, так как моменты интеграла столкновений – квадратичные формы, содержащие $f_{nl}(t, x)$. Кроме того, дифференциальная часть этой системы уравнений содержит в качестве коэффициентов U_3 – скорость полета летательных аппаратов и $\alpha = \sqrt{1/(R\theta)}$, где θ – температура поверхности летательных аппаратов. Производные по времени и пространственной переменной от скорости полета и температуры поверхности летательных аппаратов также входят в систему уравнений (13) как коэффициенты при младших членах. Система уравнений (13) отличается от системы уравнений Грэда, так как моменты функции распределения определяются иначе чем у Грэда, и системы моментных уравнений Больцмана, введенной в работе [7-8] одним из авторов данной работы. Для того, чтобы подчеркнуть отличие системы уравнений (13) от системы уравнений Грэда и системы моментных уравнений Больцмана, будем называть ее системой моментных уравнений Аужани или моментная система Аужани.

Запишем начально-краевую задачу для системы моментных уравнений (13) в третьем приближении в векторно-матричной форме. Если в равенстве (13) выражение $2n+l$ принимает значения от 0 до 3, то мы получим третье приближение системы моментных уравнений. В случае системы моментных уравнений в третьем приближении мы используем граничное условие (7). Если в равенстве (7) выражение $2(n+l)$ принимает значения от 0 и 2, то мы получим по три граничных условий на левом и правом концах интервала $(-a, a)$. Введем в рассмотрения следующие векторы и матрицы (здесь мы опускаем громоздкие вычисления элементов матриц B, C_1, \dots, C_8 и вектора F):

$$u = (f_{00}, f_{02}, f_{10})', w = (f_{01}, f_{03}, f_{11})',$$

$$J_1 = (0, J_{02}, 0)', J_2 = (0, J_{03}, J_{11})',$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \frac{2}{\sqrt{3}} & \frac{3}{\sqrt{5}} & -\frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{15}} \\ -\sqrt{\frac{2}{3}} & 0 & \sqrt{\frac{5}{3}} \end{pmatrix}, B = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \begin{pmatrix} \sqrt{2} & \sqrt{\frac{2}{3}} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \\ \sqrt{\frac{2}{3}} & 2\sqrt{2} & -1 \\ -\frac{1}{\sqrt{3}} & -1 & 3\sqrt{2} \end{pmatrix}$$

$$F = \begin{pmatrix} 2, \frac{2}{\sqrt{3}}, \sqrt{\frac{2}{3}} \end{pmatrix}'.$$

$$C_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ -\sqrt{6} & 0 & 2 \end{pmatrix}; C_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ -\sqrt{10} & 0 & 3 \end{pmatrix};$$

$$C_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -\frac{4}{5\sqrt{3}} & \frac{-6\sqrt{5}}{35} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{2}{\sqrt{15}} \end{pmatrix};$$

$$C_4 = \begin{pmatrix} -\frac{1}{3} & 0 & -\frac{2}{5\sqrt{3}} \\ 0 & -\frac{9}{7\sqrt{5}} & 0 \\ -\frac{30-2\sqrt{2}}{3\sqrt{15}} & -\sqrt{\frac{3}{2}}\left(1+\frac{4}{3\sqrt{5}}\right) & \frac{5\sqrt{2}-2}{\sqrt{15}} + \frac{9+2\sqrt{6}}{4\sqrt{3}} \end{pmatrix};$$

$$C_5 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \frac{4}{\sqrt{3}} & \frac{6}{\sqrt{7}} & -4\sqrt{\frac{2}{15}} \\ -\frac{(4+2\sqrt{3})}{\sqrt{15}} & 0 & 2 \end{pmatrix};$$

$$C_6 = \begin{pmatrix} 1 & \frac{2}{\sqrt{5}} & -\sqrt{\frac{2}{3}} \\ 0 & \frac{9}{\sqrt{5}} & 0 \\ -2\sqrt{\frac{5}{2}} & -2\left(\sqrt{2} + \sqrt{\frac{6}{5}}\right) & 5\sqrt{\frac{5}{3}} \end{pmatrix};$$

$$C_7 = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} & \frac{2}{5\sqrt{3}} & 0 \\ \frac{2\sqrt{3}}{5} & \frac{11}{7} & -\frac{2\sqrt{2}}{5} \\ -\sqrt{\frac{2}{3}} & -\frac{8}{5\sqrt{2}} & 1 \end{pmatrix}; C_8 = \begin{pmatrix} \frac{6}{5} & \frac{4\sqrt{15}}{35} & 0 \\ \frac{24}{7}\sqrt{\frac{2}{15}} & \frac{644}{315} & -\frac{24}{35}\sqrt{\frac{2}{3}} \\ -3\sqrt{\frac{2}{5}} & -\frac{8\sqrt{6}+10\sqrt{3}}{35} & \frac{12}{5} \end{pmatrix}.$$

Тогда начально-краевая задача для системы моментных уравнений (13) в третьем приближении при граничных условиях Максвелла-Аужана имеет вид

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\alpha} Aw \right) + \frac{d \ln \alpha}{dt} C_1 u + \alpha \frac{dU_3}{dt} C_3 w + \frac{1}{\alpha} \frac{d \ln \alpha}{\partial x} C_5 w + \frac{\partial U_3}{\partial x} C_7 u = J_1(u, w), \\ \frac{dw}{dt} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\alpha} A' u \right) + \frac{d \ln \alpha}{dt} C_2 w + \alpha \frac{dU_3}{dt} C_4 u + \frac{1}{\alpha} \frac{d \ln \alpha}{\partial x} C_6 u + \frac{\partial U_3}{\partial x} C_8 w = J_2(u, w), \end{aligned} \quad (14)$$

$$(t, x) \in (0, T] \times (-a, a), \quad (14)$$

$$u(0, x) = u_0(x), w(0, x) = w_0(x), x \in [-a, a], \quad (15)$$

$$\frac{1}{\alpha} (Aw^+ - Bu^+)(t, -a) = \beta \frac{1}{\alpha} (Aw^- + Bu^-)(t, -a) + \frac{\pi}{\alpha^4} (1 - \beta) F, t \in [0, T], \quad (16)$$

$$\frac{1}{\alpha} (Aw^+ + Bu^+)(t, a) = \beta \frac{1}{\alpha} (Aw^- - Bu^-)(t, a) - \frac{\pi}{\alpha^4} (1 - \beta) F, t \in [0, T], \quad (17)$$

$$J_{02} = (\sigma_2 - \sigma_0)(f_{00}f_{02} - f_{01}^2/\sqrt{3})/2,$$

$$J_{03} = \frac{1}{4}(\sigma_3 + 3\sigma_1 - 4\sigma_0)f_{00}f_{03} + \frac{1}{4\sqrt{5}}(2\sigma_1 + \sigma_0 - 3\sigma_3)f_{01}f_{02},$$

$$J_{11} = (\sigma_1 - \sigma_0)(f_{00}f_{11} + \frac{1}{2}\sqrt{\frac{5}{3}}f_{10}f_{01} - \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{15}}f_{01}f_{02})$$

– моменты интеграла столкновений, A' - транспонированная матрица.

Граничные условия (16)-(17) совпадают с условиями на неподвижной границе для шестимоментной системы уравнений Больцмана при постоянном значении параметра α [17]. В случае задач (14)-(17) граница движется со скоростью U_3 и параметр α зависит от времени

и координат. Требуются найти решение системы уравнений (14), удовлетворяющие начальным условиям (15) и граничным условиям (16)-(17), а также найти скорость движения и температуру поверхности летательных аппаратов.

Заключение. Грэд разложил функцию распределения частиц по полиномам Эрмита около локальной функции Максвелла. Коэффициенты разложения определяются по формуле $a^N = \frac{1}{n} \int f H^{(N)}(v) d\xi$, где $v = \sqrt{\frac{m}{kT}} c = \sqrt{\frac{m}{kT}}(\xi - u)$ - относительная скорость (по отношению к средней скорости). Коэффициенты разложения функции распределения частиц по полиномам Эрмита зависят от неизвестного параметра n – момент нулевого порядка. В случае системы уравнений (13) моменты $f_{nl}(t, x)$ определяются с помощью равенства (9) и $c = v - U_3$, где U_3 - скорость полета летательных аппаратов. Следовательно, коэффициенты разложения функции распределения частиц по полиномам Эрмита и моменты $f_{nl}(t, x)$ (коэффициенты разложения функции распределения частиц около локального максвелловского распределения по собственным функциям линеаризованного оператора) различаются. Кроме того, структуры системы уравнений Грэда и (13) различные. Действительно, запишем дифференциальное уравнение для $a^{(2)}$ из системы уравнений Грэда [5]

$$\begin{aligned} \frac{\partial a_{ij}^{(2)}}{\partial t} + u_r \frac{\partial a_{ij}^{(2)}}{\partial x_r} + a_{ir}^{(2)} \frac{\partial u_j}{\partial x_r} + (a_{ij}^{(2)} + \delta_{ij}) \frac{1}{RT} \frac{dRT}{dt} + \sqrt{RT} \frac{\partial a_{ijr}^{(3)}}{\partial x_r} \\ + \frac{\sqrt{RT}}{\rho} a_{ijr}^{(3)} \frac{\partial \rho}{\partial x_r} + \frac{3}{2RT} a_{ijr}^{(3)} \frac{\partial RT}{\partial x_r} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} = J_{ij}^{(2)}. \end{aligned} \quad (18)$$

В уравнении (18), u_r, u_i, u_j - компоненты средней скорости газа, T - температура газа, т.е. коэффициенты при $a_{ij}^{(2)}, a_{ijr}^{(3)}$ и их производных зависят от макроскопических характеристик газа. Теперь запишем дифференциальное уравнение для f_{02} из системы уравнений (13), соответствующее значению

$$\begin{aligned}
 2n + l = 2 \Rightarrow n = 0, l = 2 \\
 \frac{\partial f_{02}}{\partial t} + U_3 \frac{\partial f_{02}}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{1}{\alpha} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} f_{01} + \frac{3}{\sqrt{5}} f_{03} - \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{15}} f_{11} \right) \right] + 2f_{02} \frac{d \ln \alpha}{dt} \\
 - \left(\frac{4}{5\sqrt{3}} f_{01} + \frac{6\sqrt{5}}{35} f_{03} \right) \alpha \frac{d U_3}{dt} + \\
 + \left(\frac{4}{\sqrt{3}} f_{01} + \frac{6}{\sqrt{7}} f_{03} - 4 \sqrt{\frac{2}{15}} f_{11} \right) \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \ln \alpha}{\partial x} + \left(\frac{2\sqrt{3}}{5} f_{00} + \frac{11}{7} f_{02} - \frac{2\sqrt{2}}{5} f_{10} \right) \frac{\partial U_3}{\partial x} = J_{02}. \quad (19)
 \end{aligned}$$

В уравнении (19) U_3 - скорость движения летательных аппаратов и $\alpha = \sqrt{1/(R\Theta)}$, где Θ - температура поверхности летательных аппаратов. Производная f_{02} по x содержит U_3 как коэффициент и производные f_{01}, f_{03}, f_{11} по x содержит $\frac{1}{\alpha}$ как коэффициент. Кроме того, производные от U_3 и α по t и x содержатся в уравнении (19) как коэффициенты при младших членах. Следовательно, система уравнений (13) и система моментных уравнений Грэда различные.

Используя соответствующую задачу для системы уравнений Грэда мы можем определить только макроскопические характеристики газа, а с помощью начально-краевой задачи для системы уравнений (13) можно определить не только макроскопические характеристики газа, но и скорость движения и температуру поверхности летательных аппаратов. Определение скорости движения и температуру поверхности летательных аппаратов с помощью (14)-(17) является обратной задачей для гиперболической системы уравнений.

1. При выводе системы моментных уравнений Больцмана функцию распределения частиц раскладывали по собственным функциям линеаризованного оператора столкновений около глобального максвелловского распределения, т.е. при постоянном значении $\alpha = \sqrt{1/(R\Theta)}$, и система моментных уравнений Больцмана зависела только от одного параметра. А в случае системы уравнений (13) обе величины α и U_3 являются функциями времени и координат и, как следствие, структуры системы уравнений (13) и системы моментных уравнений Больцмана также различны. Если в системе (13) параметр α постоянен и $U_3 = 0$, то мы получим систему моментных уравнений Больцмана [20]

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial f_{nl}}{\partial t} + \frac{1}{\alpha} \frac{\partial}{\partial x} \left[l \left(\sqrt{\frac{2(n+l+1/2)}{(2l-1)(2l+1)}} f_{n,l-1} - \sqrt{\frac{2(n+1)}{(2l-1)(2l+1)}} f_{n+1,l-1} \right) + \right. \\
 \left. + (l+1) \left(\sqrt{\frac{2(n+l+1/2)}{(2l+1)(2l+3)}} f_{n,l+1} - \sqrt{\frac{2n}{(2l+1)(2l+3)}} f_{n-1,l+1} \right) \right] = I_{nl}, \\
 2n + l = 0, 1, \dots, k.
 \end{aligned}$$

Система моментных уравнений Больцмана является частным случаем системы уравнений (13).

2. Система моментных уравнений (13) зависит от скорости полета и температуры поверхности летательных аппаратов, и граничные условия (7) и (8) зависят от температуры поверхности летательных аппаратов. Система уравнений (13) представляет собой сложную нелинейную гиперболическую систему уравнений относительно моментов функции распределения частиц. Левая часть системы уравнений (13) зависит от неизвестных параметров α и U_3 , а правая часть представляет собой квадратичную форму - моменты интеграла столкновений. Кроме того, граничные условия (7) и (8) также зависят от неизвестного параметра α . Доказательство корректности начально-краевых задач для

системы уравнений (13) в различных приближениях при граничных условиях (7) или (8) является нетривиальной задачей с математической точки зрения, а определение аэродинамических характеристик летательных аппаратов, таких как параметры атмосферы, скорости полета, температуры поверхности летательных аппаратов и т.п., актуально для аэрокосмической техники.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (проект №АР08856926).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Коган М.Н. Динамика разряженного газа. –М.: Наука, 1967.– 440с.
- [2] Баранцев Р.Г. Взаимодействие разряженных газов с обтекаемыми поверхностями. – М: Наука,1975. –343с.
- [3] Латышев А.В., Юшканов А.А. Моментные граничные условия в задачах скольжения разряженного газа // Механ. жидкости и газа. – 2004. –№2. – С.193-208.
- [4] Хлопков Ю.И., Зея Мъо Мъинт, Хлопков А.Ю. Методики решения задач высотной аэродинамики в разреженном газе // Междунар. журнал прикл. и фундаментальных исследований.– 2014. – №1. –С. 156-162.
- [5] G. Grad. Kinetic theory of rarefied gases // Comm. Pure Appl. Math. – 1949. –№2. – 331р.
- [6] G. Grad. Principle of the kinetic theory of gases // Handbuch der Physik. – 1958. –V. 12. – p. 205-294.
- [7] A. Sakabekov. Initial-boundary value problems for the Boltzmann's moment system equations in an arbitrary approximation // Sb. Russ. Acad. Sci. Math. – 1994. –№77 (1). – p. 57-76.
- [8] Сакабеков А. Начально-краевые задачи для системы моментных уравнений Больцмана. - Алматы: Научно-издательский центр "Ғылым", 2002. - 276 с.
- [9] Черчиньян К. Теория и приложения уравнения Больцмана. – М.: Мир, 1978. – 496 с.
- [10] K. Kumar, Polynomial expansions in Kinetic theory of gases // Annals of physics. – 1966. –V. 57. – p. 115-141.
- [11] Неудачин В.Г., Смирнов Ю.Ф. Нуклонные ассоциации в легких ядрах. – Л.: Наука, 1969.
- [12] M. Moshinsky. The harmonic oscillator in modern physics: from atoms to quarks. – New York – London - Paris, 1960. – 152р.
- [13] Бобылев А.В. Метод преобразования Фурье в теории уравнения Больцмана для максвелловских молекул // ДАН СССР. – 1975. – т.225.–№5.–С.1041-1044.
- [14] Веденяпин В.В. Анизотропные решения нелинейного уравнения Больцмана для максвелловских молекул // ДАН СССР. –1981. –Т.256. – №2. –С.338-342.
- [15] C.D. Levermore. Moment closure Hierarchies for Kinetic Theories // Journal of Statistical Physics. – 1996. – V.83. – No. 5/6.
- [16] Баранцев Р.Г., Луцет М.О. О граничных условиях для моментных уравнений разреженного газа // Вестник ЛГУ. – серия матем. мех. – 1969. – №1. – С.92-101.
- [17] Sakabekov A., Auzhani Y. Boundary conditions for the onedimensional nonlinear nonstationary Boltzmann's moment system equations // Journal of mathematical physics. – 2014. – N55. –123507.
- [18] S. Mischler, Kinetic equations with Maxwell boundary conditions // Annales scientifique de l'ENS. – 2010. –N43. – fascicule 5. – p. 719-760.
- [19] Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. – М.: Наука,1974. – 832с.
- [20] Сакабеков А. Смешанная задача для одномерной системы уравнений Больцмана в нечетном приближении // Дифференциальные уравнения, 1992, т.28, № 5, с.с. 892-900.

REFERENCES

- [1] Kogan M.N. Dinamika razrjazhennogo gaza. –М.: Nauka, 1967.– 440s.
- [2] Barancev R.G. Vzaimodejstvie razrjazhennyh gazov s obtekayemymi poverhnostjami. – М: Nauka,1975. –343s.
- [3] Latyshev A.V., Jushkanov A.A. Momentnye granichnye uslovija v zadachah skol'zhenija razrjazhennogo gaza // Mehan. zhidkosti i gaza. – 2004. –№2. – S.193-208.

• Физико-математические науки

- [4] Hlopkov Ju.I., Zeja M'o M'int, Hlopkov A.Ju. Metodiki reshenija zadach vysotnoj ajerodinamiki v razrezhennom gaze // Mezhdunar. zhurnal prikl. i fundamental'nyh issledovanij. – 2014. – №1. –S. 156-162.
- [5] G. Grad. Kinetic theory of rarefied gases // Comm. Pure Appl. Math. – 1949. –№2. – 331p.
- [6] G. Grad. Principle of the kinetic theory of gases // Handbuch der Physik. – 1958. –V. 12. – p. 205-294.
- [7] A. Sakabekov. Initial-boundary value problems for the Boltzmann's moment system equations in an arbitrary approximation // Sb. Russ. Acad. Sci. Math. – 1994. –№77 (1). – p. 57-76.
- [8] Sakabekov A. Nachal'no-kraevye zadachi dlja sistemy momentnyh uravnenij Bol'cmana. - Almaty: Nauchno-izdatel'skij centr "Fylym", 2002. - 276 s.
- [9] Cherchin'jani K. Teoriya i prilozhenija uravnenija Bol'cmana. – M.: Mir, 1978. – 496 s.
- [10] K. Kumar, Polynomial expansions in Kinetic theory of gases // Annals of physics. – 1966. –V. 57. – p. 115-141.
- [11] Neudachin V.G., Smirnov Ju.F. Nuklonnye associacii v legkih jadrah. – L.: Nauka, 1969.
- [12] M. Moshinsky. The harmonic oscillator in modern physics: from atoms to quarks. – New York – London - Paris, 1960. – 152p.
- [13] Bobylev A.V. Metod preobrazovaniya Fur'e v teorii uravnenija Bol'cmana dlja maksvellovskih molekul // DAN SSSR. – 1975. – t.225. – №5. –C.1041-1044.
- [14] Vedenjapin V.V. Anizotropnye reshenija nelinejnogo uravnenija Bol'cmana dlja maksvellovskih molekul // DAN SSSR. –1981. –T.256. – №2. –C.338-342.
- [15] C.D. Levermore. Moment closure Hierarchies for Kinetic Theories // Journal of Statistical Physics. – 1996. – V.83. – No. 5/6.
- [16] Barancev R.G., Lucet M.O. O granichnyh uslovijah lja momentnyh uravnenij razrezhennogo gaza // Vestnik LGU. – serija matem. meh. – 1969. – №1. – S.92-101.
- [17] Sakabekov A., Auzhani Y. Boundary conditions for the onedimensional nonlinear nonstationary Boltzmann's moment system equations // Journal of mathematical physics. – 2014. – N55. –123507.
- [18] S. Mischler, Kinetic equations with Maxwell boundary conditions // Annales scientifique de l'ENS. – 2010. –N43. – fascicule 5. – p. 719-760.
- [19] Korn G., Korn T. Spravochnik po matematike. – M.: Nauka,1974. – 832s.
- [20] Sakabekov A. Smeshannaja zadacha dlja odnomernoj sistemy uravnenij Bol'cmana v nechetnom priblizhenii // Differencial'nye uravnenija, 1992, t.28, № 5, s.s. 892-900.

Ә. Сақабеков, Е. Аужани
Satbayev University, Алматы, Қазақстан
auzhani@gmail.com

БОЛЬЦМАН ТЕНДЕУІН ӘУЕ КЕМЕСІНІЦ АЭРОДИНАМИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН АНЫҚТАУ ҮШІН ҚОЛДАНЫЛУЫ

Андратпа. Жұмыста әуе кемесінің қозғалу жылдамдығынан және әуе кемесінің бетінің температурасынан тәуелді бір өлшемді стационар емес сзықсыз момент тендеулерінің жаңа жүйесі қорытылып шығарылған және Больцманның бір өлшемді стационар емес сзықсыз тендеуі үшін қойылған әуе кемесінің бетінің температурасынан тәуелді Максвеллдің микроскопиялық шекаралық шарты аппроксимацияланған. Максвеллдің микроскопиялық шекаралық шартын аппроксимациялау моменттік тендеулер жүйесін $f_k(t, x, v)$ жуықтаудың жұптығы мен тақтығына тәуелді болады, $f_k(t, x, v)$ молекулаларды үлестіру $f(t, x, v)$ функциясының сзықтықты соктығысу оператороның өзіндік функциялары арқылы Фурье қатарына жіктелуі. Максвелл-Аужан микроскопиялық шекаралық шарттарын қанағаттандырытын моменттік тендеулер жүйесінің үшінші жуықтауы үшін бастапқы шекаралық есептің тұжырымдамасы келтірілген. Әуе кемелерінің аэродинамикалық сипаттамаларын қошпелі режимде талдау үшін Максвеллдің әуе кемесінің бетінің температурасынан тәуелді микроскопиялық шекара шартын қанағаттандырытын және әуе кемесінің қозғалу жылдамдығынан тәуелді Больцманның толық интеграл-дифференциалды тендеуі қолданылады.

Негізгі сөздер: Больцман тендеуі, моменттік тендеулер жүйесі, Максвеллдің микроскопиялық шекаралық шарты.

A. Sakabekov, Y. Auzhani
Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
auzhani@gmail.com

APPLICATION OF THE BOLTZMANN EQUATION FOR DETERMINING THE AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF AIRCRAFTS

Abstract. In this paper we present the derivation of new one-dimensional non-stationary nonlinear system of moment equations and an approximation of the microscopic boundary condition when part of molecules reflect from the surface specularly and part diffusive with Maxwell's distribution. Macroscopic boundary conditions for the system of moment equations depend on the evenness and oddness of the approximation $f_k(t, x, v)$, where $f_k(t, x, v)$ is the partial sum of expansion of the distribution function of molecules $f(t, x, v)$ into eigenfunctions of the linearized collision operator. The formulation of the initial and boundary value problem for the system of moment equations in the third approximation under the Maxwell-Auzhan macroscopic boundary conditions is given. To analyze aerodynamic characteristics of aircraft in transient regime was used complete integro-differential Boltzmann equation, which contains a term depending on the moving speed of aircraft, and under Maxwell's microscopic boundary conditions, depending on the surface temperature.

Keywords: Boltzmann's equation, system of moment equations, Maxwell's microscopic boundary condition

¹М. Кабдуллин, ²Л. Найзабаева

¹Институт кибернетики и информационных технологий, Satbayev University, Алматы, Казахстан

²Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

АНАЛИЗ БИОМЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В КАРДИОЛОГИИ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Аннотация. В данной работе представлен метод разработки автоматического анализа биомедицинских изображений, способного помочь врачам в обработке данных, которые требуют длительные временные затраты на обработку изображений. Решение позволит диагностировать заболевания, в том числе в стадии развития болезни, и определять состояния человека, например наличие физической нагрузки в настоящее время. Целью этого исследования было разработать новый эффективный метод обнаружения аритмии с использованием сегментов изображений сигналов ЭКГ. На первом этапе происходит обработка изображений, для выявления шумов на изображении, выделяются категории данных. На второй стадии – выявление нормы, отклонение от нормы и критическое отклонение от нормы, что позволит предсказывать ранее развитие болезни и выявление заболеваний у пациентов.

Ключевые слова: Биомедицинские изображения, кардиология, машинное обучение.

Введение. Анализ наиболее эффективного метода машинного обучения в области, связанной с медицинской сферой, является одной из важнейших в современном мире. Но новые технологии создаются не для замены медицинского персонала. Технологии помогают врачам принимать преимущественно правильные решения. Обученная нейросеть способна заметить присутствие патологий по симптоматике и предлагать лечение, но последние решения всегда останется за лечащем врачом.

Machine Learning осуществляется на принципах статистических и вычислительных методах, используя различные комбинации, в том числе теорию вероятностей, логику, обучение с подкреплением, статистику, теорию управления, поисковые методы, вычислительную оптимизацию. ML используется почти во всех сферах, обрабатывая всевозможные виды данных (видео, аудио, текст), в предсказание, определение образов, экспертные системы, робототехника и даже игры. [1]

Существуют системы применимые для анализа и обработки медицинских изображений, осуществляющие прогнозирование изображений для разных целей. Но у данных систем есть недостатки в использовании, так как требуют от пользователя квалификации в данной области, также с обработкой изображений можно столкнуться с многочисленными трудностями. И не исключаем, что при выборе алгоритма обработки изображения пользователь рассчитывает только на свои знания и опыт, из этого следует, что метод возможно будет неоптимальным при поставленной задачи, а при переборе многочисленных алгоритмов, потребуется длительные временные затраты на обработку изображений. [2]

В целях оптимального достижения поставленной назначения при проведении обработки изображений и быстрым по сравнению с перебором многочисленных алгоритмов является автоматизированный выбор подходящего алгоритма обработки. Для наиболее точного обнаружения патологий на биомедицинские изображения должна быть использована улучшенная система глубокого зрительного восприятия. [3]

Метод. Для разработки автоматического алгоритма анализа биомедицинских изображений, способных помочь врачам-кардиологам в использовании больших объемов данных и данных, занимающих многочисленные временные затраты при обработке

изображений. Потребуются рассмотреть такие задачи, как диагностирование заболеваний по биомедицинским данным. Помимо изображений самого сердца, в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний используются изображения или видеофрагменты капилляров, полученные при помощи цифрового микроскопа. Анализируются форма капилляров и скорость кровотока. Данные о работе сердца получают с помощью электрокардиографии (ЭКГ), из которой можно извлекать данные о вариабельности сердечного ритма (ВСР). Анализ вариабельности сердечного ритма, а также формы волны ЭКГ позволяет диагностировать различные заболевания, в том числе, на ранней стадии, и определять конкретные физиологические состояния, например, наличие физической нагрузки в данный момент. При этом область применения подобного анализа не ограничивается кардиологией, а может быть распространена, например, на психологию. Таким образом, целью нашего исследования является разработка автоматических алгоритмов анализа кардиологических данных, которые превосходят аналоги хотя бы по одному из показателей – точности или скорости, или применимы к новым задачам.

Объектом же исследования выступают биомедицинские изображения самого сердца, формовые волны ЭКГ и изображения капилляров, полученные при помощи цифрового микроскопа. Исследование необходимо базировать на методах математического моделирования, анализа и синтеза биотехнических систем, методах теории статистических решений и методах анализа и обработки изображений.

Таким образом, наша цель — это разработка метода для анализа биомедицинских изображений, обеспечивающей повышение эффективности обнаружения пользователем различных патологий и отклонений от нормы, характерных для здорового изображения. Наше исследование по разработке системы поможет врачам-кардиологам, не только экономить время на обработку данных, но исключает ошибок свойственных человеческому фактору. Разработка алгоритма для поиска отклонений на изображениях с областями с разбиением на набор областей, является новым. Особенно, упрощается процесс обучения системы.

Метод анализа включает алгоритм поиска на изображениях характерных использованных наборов отклонений на определенной области изображения является новым. Предполагается протестировать алгоритм на реальных данных в задаче поиска на сердечных мышцах на анатомические структуры и продемонстрировать точность, сравнимую с аналогами для похожих задач. Но, в отличие от аналогов, улучшенная способность поиска при наличии набора обучающего размеченного изображения.

Поставленный алгоритм способен различать обширный спектр патологических отклонений на биомедицинских изображениях с точностью, позволяющей добиваться лучших результатов по сравнению с аналогами. К тому же обучение классификатора будет проходить быстрее за счет ограничение областей на изображениях с помощью поиска объектов и отсеивание зон не требующих анализов.

Также в метод включен алгоритм разбиения изображения на набор областей, это поможет при обнаружении анатомических сужений кровеносных сосудов, проходящих через сердечную мышцу. Что способствует получению множественных результатов обработки с одного изображения. Не исключением в методе будет алгоритм классификации с обучением по набору объектов, который включает классификации объектов на подмножество подклассы, например, если присутствует классификатор здоровый и больной, полученный из базы кардиограмм, то можно построить классификатор для определенных заболеваний или физиологических отклонений по обучающему примеру (Рис. 1).

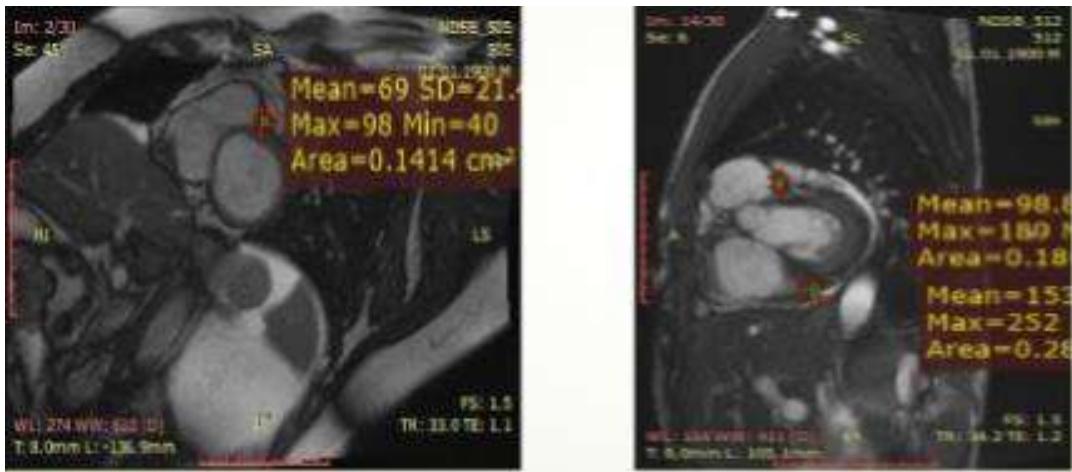


Рисунок 1. Примеры разметки

Это, в частности, важно для задач с редкими заболеваниями и физиологическими отклонениями, для которых невозможно создать огромную обучающую базу. Разработанный алгоритм возможен в использования в профессиональном спорте, особенно, при появлениях состояний перетренировки и оптимальной нагрузке спортсмена.

В рамках разработки метода необходимо учесть следующие критерии:

1. Исходя из описанных ранее алгоритмов автоматизированной системы необходимо, чтобы результаты были более точные.

2. Используя разработанный метод провести ряд экспериментов, которые докажут, что качество диагностических критериев является приемлемым, что позволит наиболее оптимально производить диагностику изображений.

3. Разработанный метод необходимо апробировать в медицинском учреждении.

Заключение. Предлагаемые в работе алгоритмы способны поднять уровень интерактивной диагностики в медицинских учреждениях, работающих с большими данными биомедицинскими изображениями. Будущее исследования в данном направлении включает поиск наиболее эффективного алгоритма диагностических критериев для усовершенствования системы поиска более сложных отклонений. Алгоритм классификаций изображений на базе критериев повысит точность определения распознавания отклонений на биомедицинские изображения. Подходящий характер набора критериев в процессе обучения позволит расширить использование любых объектов, для этого необходимо расширить набор областей, находящихся на изображении и переобучить систему в соответствии с определенными критериями.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Митчелл Т. Машинное обучение, с. 15-17. McGraw-Hill Science, 1997.
- [2] Анисимов Б. Распознавание и цифровая обработка изображений. М.: Высш. школа, 1983. 295 с.
- [3] Gkoulalas-Divanis A., Loukides G., and Sun J. Publishing data from electronic health records while preserving privacy: A survey of algorithms. J. Biomed. Inform., vol. 50, pp. 4–19, Aug. 2014.
- [4] Фландрия А.Э. Медицинское изображение и обмен данными: мы уже там? Рентгенография, вып. 29, с. 165–203, 2009.
- [5] Гонзales Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2006. 1072 с.
- [6] Яне Б. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2007. 584с.
- [7] Nasonov A., Krylov A. Image sharpening by grid warping with curvature analysis в сборнике 2019 15th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS), место издания IEEE, с. 262-267 DOI

[8] Nasonov A., Nikolay M., Krylov A. An Investigation of Denoising Parameters Choice in two Perona-Malik Models в сборнике 2019 15th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS), место издания IEEE, с. 61-66

[9] Sagindykov T.B., Brazhe A.R., Sorokin D.V. Preprocessing and Registration of Miniscope-Based Calcium Imaging of the Rodent Brain в журнале International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, том 42, № 2/W12, с. 185-188 DOI

[10] Martin M., Tereza N., David W., Sorokin D.V., Peterlik I., Ulman V., Svoboda D. Toward Robust Fully 3D Filopodium Segmentation and Tracking in Time-Lapse Fluorescence Microscopy в сборнике 2019 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), место издания IEEE, с. 819-823 DOI

[11] Nasonov A.V., Mamaev N.V., Volodina O.S., Krylov A.S. Automatic Choice of Denoising Parameter in Perona-Malik Model в сборнике GraphiCon 2019 Computer Graphics and Vision Proceedings of the 29th International Conference on Computer Graphics and Vision Bryansk, Russia, September 23-26, 2019, серия CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org), том 2485, с. 144-147

REFERENCES

[1] Mitchell T. Mashinnoe obuchenie, с. 15-17. McGraw-Hill Science, 1997.

[2] Anisimov B. Raspoznavanie i cifrovaja obrabotka izobrazhenij. M.: Vyssh. shkola, 1983. 295 s.

[3] Gkoulalas-Divanis A., Loukides G., and Sun J. Publishing data from electronic health records while preserving privacy: A survey of algorithms. J. Biomed. Inform., vol. 50, pp. 4–19, Aug. 2014.

[4] Flandrija A.Je. Medicinskoе izobrazhenie i obmen dannymi: my uzhe tam? Rentgenografija, vyp. 29, с. 165–203, 2009.

[5] Gonzales R., Vuds R. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij. M.: Tehnosfera, 2006. 1072 s.

[6] Jane B. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij. M.: Tehnosfera, 2007. 584s.

[7] Nasonov A., Krylov A. Image sharpening by grid warping with curvature analysis в сборнике 2019 15th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS), место издания IEEE, с. 262-267 DOI

[8] Nasonov A., Nikolay M., Krylov A. An Investigation of Denoising Parameters Choice in two Perona-Malik Models в сборнике 2019 15th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS), место издания IEEE, с. 61-66

[9] Sagindykov T.B., Brazhe A.R., Sorokin D.V. Preprocessing and Registration of Miniscope-Based Calcium Imaging of the Rodent Brain в журнале International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, том 42, № 2/W12, с. 185-188 DOI

[10] Martin M., Tereza N., David W., Sorokin D.V., Peterlik I., Ulman V., Svoboda D. Toward Robust Fully 3D Filopodium Segmentation and Tracking in Time-Lapse Fluorescence Microscopy в сборнике 2019 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), место издания IEEE, с. 819-823 DOI

[11] Nasonov A.V., Mamaev N.V., Volodina O.S., Krylov A.S. Automatic Choice of Denoising Parameter in Perona-Malik Model в сборнике GraphiCon 2019 Computer Graphics and Vision Proceedings of the 29th International Conference on Computer Graphics and Vision Bryansk, Russia, September 23-26, 2019, серия CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org), том 2485, с. 144-147.

¹М. Кабдуллин, ²Л. Найзабаева

¹ Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Satbayev University, Алматы, Қазақстан

²Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан

МАШИНАЛАРДЫ ОҚЫТУ НЕГІЗІНДЕ КАРДИОЛОГИЯДАҒЫ БИОМЕДИЦИНАЛЫҚ БЕЙНЕЛЕРДІ ТАЛДАУ

Андратпа. Бұл жұмыста дәрігерлерге кескінді өңдеуге көп уақытты қажет ететін мәліметтерді өңдеуде көмектесе алатын биомедициналық кескіндерге автоматты талдау жасау әдісі ұсынылған. Шешім ауруларды, оның ішінде аурудың даму сатысында диагноз қоюға және адамның жағдайын, мысалы, қазіргі уақытта физикалық белсенділіктің бар-жоғын анықтауға мүмкіндік береді. Бұл зерттеудің мақсаты ЭКГ сигналдарының кескін сегменттерін қолдана отырып, аритмияны анықтайтын жаңа тиімді әдісті әзірлеу болды. Бірінші кезеңде кескінді өңдеу жүреді, суреттегі шуды

анықтау үшін мәліметтер категориялары бөлінеді. Екінші кезеңде аурудың ерте дамуын болжауға және науқастардағы ауруларды анықтауға мүмкіндік беретін норманы анықтау, нормадан ауытқу және нормадан критикалық ауытқу.

Негізгі сөздер: биомедициналық бейнелеу, кардиология, машинамен оқыту.

¹**M. Kabdullin, ²L. Naizabayeva**

¹ Institute of Cybernetics and Information Technology, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

²The International University of Information Technologies, Almaty, Kazakhstan

ANALYSIS OF BIOMEDICAL IMAGES IN CARDIOLOGY BASED ON MACHINE LEARNING

Abstract. In this work presents a system of an automatic algorithm for analyzing images and other signals that can significantly help cardiologists in processing large amounts of data or data that require significant processing time). The analysis of heart rate variability, as well as the ECG waveform allows you to diagnose various diseases, including at an early stage, and determine specific physiological conditions, for example, the presence of physical activity now. The aim of this study was to develop a new effective method for detecting arrhythmias using image segments of ECG signals. At the first stage, image processing takes place, to identify noise in the image, data categories are allocated. At the second stage, the identification of the norm, a deviation from the norm and a critical deviation from the norm, which will allow predicting the early development of the disease and identifying diseases in patients.

Keywords: Biomedical images, cardiology, machine learning.

А. Кабдуллин

Институт кибернетики и информационных технологий, Satbayev University,
Алматы, Казахстан

ПОСТРОЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ РАННЕГО РИСКА РАЗВИТИЯ ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНИ СЕРДЦА

Аннотация. В результате обзора статей, посвященных прогнозированию данных недугов были выявлены недостатки при диагностике ранней стадии. Работники здравоохранения диагностируют ишемическую болезнь сердца полагаясь на значения электрокардиограммы, анализа крови и прочих, но нельзя отметить и человеческий фактор и как показывает практика существует огромный риск не правильного диагноза пациентов на ранней стадии. По данным Всемирной организации здравоохранения, «Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются основной причиной смерти во всем мире – ежегодно от ССЗ умирает больше людей, чем от какой-либо другой болезни. Существует огромное количество методов принятия решений ранней диагностики ишемической болезни сердца (ИБС), включая технологии машинного обучения. Данная статья посвящена изучению работ нейронных сетей с помощью корреляционного анализа признаков для предсказания риска развития ишемической болезни сердца.

Ключевые слова: нейронная сеть, система прогнозирования, машинное обучение, оптимизация нейронных сетей, медицина, ишемическая болезнь сердца, Python, Keras.

Введение. В 2030 г. от ССЗ, в основном от болезней сердца и инсульта, умрет около 23,6 млн человек. По прогнозам, эти болезни останутся основными отдельными причинами смерти» [1]. Чаще всего медицинские специалисты ставят диагнозы на основе результатов электрокардиографии, ангиографии и анализа крови. На раннем этапе болезнь диагностируется с трудом [2,3], однако для эффективного лечения очень важна ранняя диагностика. Диагнозы ставятся на основе личного опыта и квалификации медицинских работников, что приводит к увеличению рисков допущения ошибок, задержки необходимого лечения, следовательно, и времени лечения, таким образом, наблюдается существенное увеличение затрат на лечение пациента. Чтобы избавиться от этих недостатков, было проведено множество исследований в области клинических систем поддержки принятия решений с использованием таких технологий, как Data mining и машинное обучение.

Существует много исследований для прогнозирования ишемической болезни сердца с использованием нейронных систем или машинного обучения. За последние несколько лет было проведено огромное количество исследований в области раннего прогнозирования ишемической болезни сердца. В 2017 году нейронная сеть Арабасади [2], основанная на генетическом алгоритме, также Нарайн [3] использовала квантовую нейронную сеть. Но, как показывает практика, большинство предсказанных систем, использующих нейронные системы, не дают значительных результатов.

Методы. Программные средства, созданные на основе нейронных сетей, дали значимые итоги во время клинических испытаний. Несмотря на это, специалисты в области медицины остаются недовольными свойством «черного ящика» [4], которое нередко встречается у технологий данной категории. В результате обучение прогностических моделей осуществляется без понимания корреляции входных и выходных признаков нейросети. Для создания медицинских прогнозов, нейронная сеть должна выражать логику собственного функционирования, а это является серьезным недостатком.

Работа посвящается разработке прогностической системы, которая позволит сделать прогнозы о риске развития ИБС, основываясь на показателях нейросети и взаимосвязанного изучения признаков.

• Физико-математические науки

В процессе обучения, нейросеть определяет сложную корреляцию между входной и выходной информацией, а также обобщить полученные данные. Эффективный процесс обучения нейросетей способствует созданию информативных результатов для получения важных прогностических данных.

Систему, создающую прогнозы о риске возникновения ишемического заболевания сердца, решили создать, основываясь на многослойной нейросети прямой распространенности, так как эта архитектура отличается простотой и удобством для создания медицинских прогнозов.

Входные данные могут быть количественными и категориальными; под этим термином имеют в виду историю болезни. Система будет устроена так, чтобы данные о категориях передавались отдельно и обрабатывались специальным скрытым слоем. Это необходимо для наиболее удобной конфигурации данных для обработки.

Главным правилом анализа категориальной информации в нейросетях заключается в возможности охарактеризовать каждую из категорий собственным сигналом. Для этого следует применить векторные представления, которые помогут сопоставить вектора из действительных чисел к категориям. Наиболее широко применяется метод прямого кодирования. В нем каждый из существующих столбцов представляет одно вероятное значение признака.

В ситуации с множеством классов классификации количество нейронов в слое выхода равняется количеству необходимых классов. Их функция активации подразумевает Softmax или нормированную экспоненциальную функцию.

Данная функция обобщает логистические функции, сжимающие К-мерный вектор z в К-мерный вектор (z) из вещественных чисел, находящихся в диапазоне 0-1, а их сумма равняется 1.

Каждый пример для обучения способен демонстрировать значение, которое моделирует актуальное распределение вероятностей. Для сравнения двух имеющихся вероятностей следует иметь определенную меру. В роли такой меры можно использовать бинарную кросс-энтропию. Она подразумевает перемену квадратичной функции на кросс-энтропию. Это позволяет справиться с насыщением нейронов и уменьшить продолжительность обучения нейросети [5]. Данное явление можно определить следующей формулой:

x – пример для обучения;

t – желаемые итоги;

o – полученные итоги.

После ознакомления с формулой, можно сделать вывод, что вложение в функцию стоимости является низким, но только в случае, если фактический вывод приближен к желаемому итогу. Во время использования данной функции кривая становится более крутой, нежели исходная плоскость на аналогичной кривой квадратичной функции стоимости. Данная крутизна помогает ускорить процесс обучения, поскольку это является характерной чертой квадратичной функции стоимости.

Этот метод имеет один существенный недостаток: большие потери физической памяти, приводящие к увеличению длительности обучения нейросети и даже ухудшению конечных данных. Еще один недостаток прямого способа кодирования – это потеря данных в случае, если важно точное расположение существующих категорий.

Настоящая работа подразумевает наличие специализированных слоев, работающих по методу поисковых таблиц. Каждый из категориальных признаков имеет тензор указанных размеров, заполняемый векторами из случайных чисел.

После обучения отображающего слоя тензор сохраняет вектора, которые ближе всего характеризуют категориальную информацию для решения определенной задачи.

Следовательно, чтобы образец функционировал и анализировал информацию о категориях физическая память может использоваться в границах, фиксированных потребителем. Векторные представления информации будут представлять собой оптимальный способ решить задачу.

Использование функции «выпрямитель» показало лучшие результаты в процессе активации функции нейронов скрытого слоя. Функция $f(x)=\max(0,x)$ позволяет реализовать простой пороговый переход в нуле. Нейроны с данной функции именуются ReLU. Главными преимуществами нейронов являются:

- ReLU создается методом порогового изменения матрицы активации в нуле, в то время как сигмоидальные и тангенциальные функции требуют осуществление операций, требовательных к емкости ресурса;

- Присутствие линейного характера и отсутствия насыщения функции, приводящее к ускорению сходимости стохастического градиентного спуска.

Такая нейронная сеть будет обучаться по данным, имеющим около двух классов результирующих признаков. Эти классы выглядят как варианты «болен» и «не болен». Вопреки этому, возможен анализ информации с большим количеством результирующих категорий.

В ситуации с бинарной классификацией, выходной слой нейросети включает в себя один нейрон с сигмоидальной функцией активности. Указанная функция обеспечивает обретение выходного значения в рамках от 0 до 1. Благодаря дифференцируемости можно применить технику обратной ошибки.

В некоторых случаях в роли функции стоимости нейронной сети используют категорийную кросс-энтропию, а в случае бинарного способа классификации применяют бинарную кросс-энтропию, являющуюся специализированной модификацией функций кросс-энтропии. Формула представлена ниже.

t – желаемый результат;

o – полученный результат.

После загрузки в систему набора данных для анализа, прежде всего следует заняться отсеиванием признаков, не влияющий на результирующий признак. Эта задача решается при помощи статистических способов, таких как U-критерий Манна-Уитни или критерий хи-квадрат Пирсона.

U-критерий Манна-Уитни представляет собой непараметрический критерий статистического вывода, который применяется для проверки разницы между представленными группами с помощью применения порядковых данных [7]. Небольшое значение критерия увеличивает вероятность достоверности различия между значениями.

В случае, если «хи-квадрат» обладает значением больше критического, актуален вывод о наличии взаимосвязи между определяемым фактором риска и исходом при соответствующей степени значимости.

Статистический анализ позволяет отбросить незначительные признаки, а дальнейшие процедуры необходимо совершать, основываясь на процессе обучения нейросети. Этот процесс возможен с понятием чувствительности $Sen(X, x_i)$, характеризующей вклад, который вносится признаком в результат функционирования модели. Этот параметр вычисляется в роли среднего значения переменны выхода сети с учетом добавления признаков исходной информации x_i малого шума.

Для входа обученной нейросети используют набор данный, к которым добавляется шум, а затем происходит вычисления чувствительности. Позднее определения каждого признака происходит систематизация от меньшего к большему. Самый маленький вес имеют признаки с малой чувствительностью, а это означает, что их можно вычеркнуть. Нейросеть переобучается с упором на оставшиеся признаки, а затем проводится анализ производительности механизма и сравнение полученных данных со старой моделью. В случае, если производительность сохраняется, данный этап повторяют до получения минимального списка значимых признаков. Метод сбора значительных признаков приведен на следующем рисунке.

После проведения таких операций возникает нейросетевой механизм, который уже можно использовать. Модель прошла обучение на медицинских источниках информации и

• Физико-математические науки

лишается проблем «черного ящика». Это происходит благодаря структуре, способной учитывать все вариации взаимосвязи признаков.

Средство для разработок должны обладать высокой скоростью и результативностью. Для этого выбирают такие технологии:

- язык программирования Python;
- библиотека нейросети Keras [8];
- библиотека pandas для выбора и анализа данных [9].

Указанные средства отличаются удобством применения, высокими показателями функционирования, большими возможностями и производительностью.

Результаты. Анализируемая выборка представляет собой каталог информации об истории болезней пациентов клиники Кливленда [10]. База данных включает в себя 303 записи и 76 атрибутов, однако специалисты рекомендуют работать с 14 из атрибутов. В следующей таблице описывают характерные черты исследуемой выборки.

Таблица 1 - Описание выборки из исходящих данных

Designation	Feature Name	Characteristic Type
age	Age	Continuous
sex	Floor	Categorical
cp	Type of chest pain	Categorical
trestbps	Residual blood pressure	Continuous
chol	Cholesterol	Continuous
fbs	Fasting blood sugar	Categorical
restecg	ECG result at rest	Categorical
thalach	Maximum heart rate during thallium stress test	Continuous
exang	Induced angina pectoris	Categorical
oldpeak	ST segment depression caused by resting exercise	Continuous
slope	ST segment peak slope	Categorical
ca	The number of large vessels with fluoroscopy	Discrete
thal	Thallium stress test result	Categorical
num	Heart disease	Categorical

В роли обучающей выборки по большей части выступали записи, а другая часть представляла собой проверочную выборку для определения производительности.

Использование критерииев Манна-Уитни и хи-квадрат демонстрирует незначительность признаков fbs и restecg для итога работы. В связи с этим целесообразно убрать значения указанных атрибутов из выборок для проверки и обучения.

Таким образом, первая модель нейросети состоит из 11 нейронов на входе, 4 – со скрытым слоем и с одним выходным. Модель, обученная на нормализации обучающей выборки, включает в себя 212 записей.

В итоге отбора признаков нейросети, наиболее значительными признаками называют sex, thal и cp, а менее важным признаком называют age. Сеть переобучается данными, не включенными в указанный признак. Это привело к упадку производительности модели 91% до 86%.

Характеристики взаимосвязи признаков определяются в соответствии с взаимодействием на изменение чувствительности. Оказалось, что признаки взаимосвязи способны влиять на изменения чувствительности друг друга при помощи увеличения характеристик единичного признака. Между собой коррелируют такие признаки, как chol, cp, exang, sex, slope, thal, thalach и trestbps.

Конечная модель обладает производительностью, которую можно сравнить с классификатором SVM, полносвязной нейросетью и Байесовским классификатором.

Классификация методом SVM преследует цель разработки алгоритмически действенных способов выстроения оптимальной гиперплоскости разделения в пространстве высоко размеренных признаков.

Байесовский классификатор основывается на использовании теоремы Байеса, предположения которой отличаются строгостью о независимости входящих данных.

Кроме точности, в роли оценивающих критерий использовали положительные и отрицательные значения предсказания. Положительное предсказывающее значение символизирует возможность заболевания во время положительных прогнозов, в то время как негативное предсказывающее значение определяет возможность отсутствие болезни в период отрицательного прогноза.

Таблица 2 - Сопоставление методов предсказания

PPV	NPV	Accuracy	
Proposed model	0.91	0.91	91.22%
SVM	0.85	0.86	85.67%
Naive Bayes Classifier	0.83	0.87	85.67%
Fully connected neural network	0.89	0.89	90.11%

Следующая таблица показывает, что SVM – это классификатор, который вместе с классификатором Байеса продемонстрировал менее эффективные результаты, чем нейросеть. Указанная модель выступает лучше нейросети, поскольку она способна ликвидировать неважные признаки во время обучения.

Чувствительный метод отбора признаков повествует о возможности развития ИБС. Следовательно, итоговая модель обладает высокими показателями производительности и отличается эффективностью в создании прогнозов на тему вероятности возникновения ИБС.

Заключение. Существует множество исследований о создании прогнозов на тему вероятности возникновения ИБС, и чаще всего в процессе исследований применяются нейросети и линейные регрессоры. В результате, можно сделать вывод о том, что для создания высокоэффективных нейросетей следует рассматривать особенности трактовки признаков модели и отбросить незначительные показатели.

Указанная модель нейросети с применением анализа корреляции признаков демонстрирует большую точность вероятности развития ИБС (92% точности) по сравнению с классификатором Байеса. Это означает, что нейронная сеть может быть полезной в процессе предварительной диагностики пациентов.

Способ создания медицинских прогнозов, разработанный в пределах данной работы, имеет большую значимость в области практического применения, поскольку внедрение данной системы поможет увеличить скорость и точность предварительной диагностики пациентов. Система обладает множеством преимуществ в сравнении с аналогами.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] WHO: Top-10 global causes of deaths, 2018 (<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>)
- [2] Z. Arabasadi, R. Alizadehsani, M. Roshanzamir, H. Moosaei, A. A. Yarifard, “Computer Aided Decision Making for Heart Disease Detection Using Hybrid Neural network-Genetic Algorithm,” Computer Methods and Programs in Biomedicine, vol. 141, 2017, pp. 19 – 26.
- [3] R. Naraini, S. Saxena, A.K. Goyal, “Cardiovascular Risk Prediction: A Comparative Study of Framingham and Quantum Neural Network Based Approach”, Patient Preference and Adherence, vol. 10, 2016, pp. 1259–1270.

● Физико-математические науки

- [4] Sussillo, D., Barak, O. Opening the black box: lowdimensional dynamics in high-dimensional recurrent neural networks. *Neural Computation*, vol. 25, no. 3, 2013 - P. 626–649.
- [5] MC.AI, “Softmax Function Beyond the Basics”, 2019, (<https://mc.ai/softmax-function-beyond-the-basics/>)
- [6] Y. Bengio, I. Goodfellow, A. Courville, “Deep learning”, DMK Press, pp. 654-655, 2018.
- [7] Kingma D.P., Ba J.L., “Adam: Method for Stochastic Optimization”, *Proceedings of the 3rd International Conference on Learning Representations (ICLR)*, San Diego, CA, USA. 7–9 May 2015.
- [8] Official library guide of Keras (<https://keras.io/>)
- [9] Official library guide of pandas (<https://pandas.pydata.org/>)
- [10] Data set source for Heart Disease (<https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Heart+Disease>)
- [11] Q. Mao, F. Hu, Q. Hao, “Deep Learning for Intelligent Wireless Networks: A Comprehensive Survey,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20 , pp. 2595 – 2621, June 2018.
- [12] N.Y. Musaev, I.M. Belova, “System for predicting the possible infection of coronary heart disease using a neural network,” *Innov: electronic scientific journal*, 2018.
- [13] Kim, J.K., Kang, S. Neural Network-Based Coronary Heart Disease Risk Prediction Using Feature Correlation Analysis. *Journal of Healthcare Engineering*, vol. 2017, 2017 – 13p.
- [14] R.S Michalski, J.G. Carbonell, T.M. Mitchell. Machine learning: An artificial intelligence approach. Springer Science & Business Media, 2013.
- [15] LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444

A. Кабдуллин

Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Satbayev University,
Алматы, Қазақстан

ЖҮРЕК-ТҮРЕК АУРУЫНЫҢ ДАМУЫНЫҢ АЛҒАШҚЫ ТӘУЕКЕЛ БЕЛГІЛЕРІН БОЛЖАУ БОЙЫНША КОРРЕЛЯЦИЯЛЫҚ ТАЛДАУ ҚӨМЕГІМЕН НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІНІ ҚҰРУ

Аннотация: Машиналық оқыту технологияларын қоса алғанда, жүректің ишемиялық ауруын (ЖСА) ерте диагностикалау үшін шешім қабылдау әдістері өте көп. Бұл мақала жүректің ишемиялық ауруының даму қауптын болжау үшін белгілердің корреляциялық талдауын қолдана отырып, жүйке желілерінің жұмысын зерттеуге арналған. Осы ауруларды болжауға арналған мақалаларды шолу нәтижесінде ерте сатыдағы диагностикадағы кемшіліктер анықталды.

Негізгі сөздер: биомедициналық бейнелеу, кардиология, машинамен оқыту.

A. Kabdullin

Institute of Cybernetics and Information Technology, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

NEURAL NETWORK USING FEATURE CORRELATION ANALYSIS TO PREDICT EARLY RISK OF CORONARY HEART DISEASE

Abstract. As a result of a review of articles devoted to predicting these ailments, shortcomings in the diagnosis of an early stage were identified. Health care workers diagnose coronary heart disease relying on the values of the electrocardiogram, blood test and others, but the human factor cannot be noted, and as practice shows, there is a huge risk of incorrect diagnosis of patients at an early stage. According to the World Health Organization, “Coronary disease” (CVD) is the leading cause of death worldwide - more people die from CVD every year than from any other disease.

There are a huge number of decision-making methods for early diagnosis of coronary heart disease (CHD), including machine learning technologies. This article is devoted to the study of the work of neural networks using correlation analysis of signs to predict the risk of developing coronary heart disease.

Keywords: Coronary Heart Disease, Neural Network, prediction system, machine learning, optimization of neural networks, medicine, Python, Keras.

¹Л.А. Алексеева, ²А.Н. Дадаева

¹Институт математики и математического моделирования МОН РК, Алматы, Казахстан

²Satbayev University, Алматы, Казахстан

e-mail: alexeeva@math.kz, dady1262@mail.ru

МЕТОД ОБОБЩЕННЫХ ФУНКЦИЙ В ПЛОСКИХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧАХ НЕСВЯЗАННОЙ ТЕРМОЭЛАСТОДИНАМИКИ

Аннотация. Рассматриваются нестационарные краевые задачи несвязанной термоупругости. Разработан метод граничных интегральных уравнений (МГИУ) в исходном пространстве-времени для решения нестационарных краевых задач термоупругости при плоской деформации. На основе метода обобщенных функций построены обобщенные решения краевых задач с использованием функции Грина для уравнения теплопроводности и тензора Грина уравнений Ламе при воздействии нестационарных силовых и тепловых источников различного вида. Получены интегральные представления решения краевых задач. Эти решения позволяют по известным граничным значениям и начальным условиям (перемещений, температуры, напряжений и теплового потока), определить термонапряженное состояние среды под воздействием различных силовых и тепловых нагрузок. Построены разрешающие граничные интегральные уравнения для определения неизвестных граничных функций.

Ключевые слова: несвязанная термоупругость, фундаментальные решения, перемещения, температура, напряжения, тепловой поток, термоупругие ударные волны.

Введение. Развитие исследований по термоупругости связано с необходимостью разработки новых механических конструкций, элементы которых работают в условиях неравномерного и нестационарного нагрева (в авиационной и ракетной технике, в системе защиты ядерных реакторов, в ряде отраслей машиностроения и т.д.). Это приводит к появлению градиента температуры в среде и прочностных свойств материалов. Вследствие теплового удара некоторые материалы становятся хрупкими и разрушаются.

В 1956 г. вышла работа Био М. [1], в которой было впервые приведено полное обоснование основных соотношений и уравнений связанный термоупругости, опирающихся на законы термодинамики необратимых процессов. Этим же автором сформулированы основные вариационные принципы и разработаны некоторые методы решения уравнений термоупругости. В последовавших публикациях Новацкого В. [2], предложены различные приемы преобразования дифференциальных уравнений термоупругости с целью упрощения задачи. Новацкий В. дал обоснование моделей связанный и несвязанной термоупругости, рассмотрел целый класс квазистатических и динамических задач термоупругости.

В работах, посвященных динамическим задачам термоупругости, отдельно выделяются задачи о тепловом ударе (thermal shock problem). При постановке такой задачи предполагается, и что в начальный момент объект покоится, а в последующий происходит резкое изменение термоупругого состояния вследствие воздействии тепловых и силовых источников, как внешних, так и в самой среде.

Так, задача о распространении термоупругой волны в полупространстве благодаря мгновенному нагреву его границы для случая малых времен впервые рассмотрена Даниловской В.И. [3,4] и решена методом малых параметров.

Подробный обзор работ по термоупругости проведен в энциклопедии Hetnarski R. [5]. Помимо тем, посвященных температурным напряжениям, энциклопедия содержит статьи по смежным разделам, таким как теория упругости, теплопроводность, термодинамика, а также есть соответствующие разделы по прикладной математике и численным методам.

В работах [6,7] для решения краевых задач связанный и несвязанный термоэластодинамики разработан МГИУ. При решении этих задач построены ГИУ в пространстве преобразований Лапласа по времени. Одна из основных проблем метода ГИУ в пространстве преобразования Лапласа, которая достаточно хорошо известна, неустойчивость численных процедур обращения трансформант решений с ростом времени, что не позволяет в расчетах строить решения при даже небольших временах.

Для того чтобы избежать этих проблем здесь разрабатывается Метод граничных интегральных уравнений (МГИУ) в исходном пространстве-времени для решения краевых задач термоупругости при плоской деформации.

1. Определяющие соотношения. Изотропная термоупругая среда характеризуется конечным числом термодинамических параметров: массовой плотностью ρ , упругими постоянными Ламе λ, μ и термоупругими константами γ, η и κ . В декартовой системе координат такая среда описывается системой уравнений [2,8]:

$$\begin{aligned} \sigma_{ij,j} - \rho \ddot{u}_i + F_i &= 0, \\ \Delta \theta - \kappa^{-1} \dot{\theta} + \eta \dot{u}_j + Q &= 0, \quad j = 1, \dots, N. \end{aligned} \quad (1.1)$$

Здесь $u_i(x, t)$ - компоненты вектора смещений $u(x, t)$, $u_{i,j} = \partial u_i / \partial x_j = \partial_j u_i$, $\theta(x, t)$ - относительная температура, F_i - компоненты массовой силы $F(x, t)$, $Q(x, t)$ - мощность теплового источника, $N = 1, 2, 3$.

Тензор напряжений $\sigma_{ij}(x, t)$ связан с перемещениями законом Дюамеля-Неймана:

$$\sigma_{ij} = (\lambda u_{k,k} - \gamma \theta) \delta_{ij} + \mu (u_{i,j} + u_{j,i}). \quad (1.2)$$

Всюду по повторяющимся индексам проводится суммирование в указанных пределах изменения.

Подставляя (1.2) в (1.1), получим замкнутую систему уравнений относительно $u(x, t)$ которую запишем в виде:

$$L_{ij}(\partial_x, \partial_t) u_j + F_i = 0, \quad (1.3)$$

где введены следующие дифференциальные операторы:

$$\begin{aligned} L_{ij} &= (\lambda + \mu) \partial_i \partial_j + (\mu \Delta - \rho \partial_t \partial_t) \delta_{ij} - \gamma \delta_{j(N+1)} \partial_i, \quad i = \overline{1, N} \\ L_{(N+1)j} &= (\Delta - \kappa^{-1} \partial_t) \delta_{j(N+1)} - \eta (1 - \delta_{j(N+1)}) \partial_t \partial_j, \quad j = \overline{1, N+1}. \end{aligned}$$

Система смешанного гиперболо-параболического типа. Распространяющиеся в термоупругой среде волны могут быть ударными. Уравнение фронта волны F имеет вид:

$$\det \{L_{ij}^2(v, v_t)\} = \det \{L_{ij}^e(v, v_t)\} \sum_{i=1}^N v_i^2 = 0, \quad (1.4)$$

где L_{ij}^2 - главная часть оператора $L_{ij}(\partial_x, \partial_t)$, содержащая только старшие производные второго порядка, а L_{ij}^e является дифференциальным оператором уравнений движения соответствующего упругого тела с параметрами (λ, μ, ρ) .

Обозначим через $(v, v_t) = (v_1, v_2, \dots, v_N, v_t)$ - вектор нормали к F в R^{N+1} . Из (1.4) следует, что либо

$$\sum_{i=1}^N v_i^2 = 0, \quad (1.5)$$

либо

$$\det \left\{ L_{ij}^e(v, v_t) \right\} = 0. \quad (1.6)$$

Уравнение (1.5) описывает характеристическую поверхность классического параболического уравнения, которая имеет вид $t = \text{const}$ и не определяет волновой фронт в пространстве R^N . Уравнение (1.6) описывает волновые фронты F_t , движущиеся в R^N со скоростью:

$$c = \frac{|v_t|}{\|v\|}, \quad c = c_j \quad (j=1,2), \quad (1.7)$$

где $\|v\| = \sqrt{\sum_{i=1}^N v_i^2}$, $c_1 = \sqrt{(\lambda + 2\mu)/\rho}$ - скорость объемных (дилатационных) упругих волн, $c_2 = \sqrt{\mu/\rho}$ - скорость сдвиговых волн. Следовательно волновые фронты (*термоупругие ударные волны*) в среде движутся со скоростью упругих волн.

Для того, чтобы сохранялись условия сплошности среды и $u(x, t)$ было решением (1.1), должны выполняться следующие условия на скачки на характеристических поверхностях [7]:

$$\begin{aligned} [u_j]_F &= 0, \quad [\theta]_F = 0, \\ v_j [\sigma_{ij}]_F &= \rho v_t [\dot{u}_i]_F 0, \quad v_j [\theta_{,j} - \eta \dot{u}_j]_F = \kappa^{-1} v_t [\theta]_F, \quad i, j = \overline{1, N}. \end{aligned} \quad (1.8)$$

Введем волновой вектор в R^N , $n = \frac{v}{\|v\|}$, направленный в сторону распространения ударной волны. Из этих равенств следуют условия на скачки на фронтах ударных волн F_t в R^N :

$$[u]_{F_t} = 0, \quad [\theta]_{F_t} = 0, \quad (1.9)$$

$$[\sigma_{ij}]_{F_t} n_j = -\rho c [\dot{u}_i]_{F_t}, \quad (1.10)$$

$$n_{,j} [\theta_{,j}]_{F_t} = \eta n_j [\dot{u}_j]_{F_t}. \quad (1.11)$$

Здесь n – волновой вектор, перпендикулярный F_t , направленный в сторону распространения волны. Равенство (1.9) является условием сохранения сплошности среды, (1.10) совпадает с известным законом сохранения импульса на фронтах ударных волн в упругих средах [9, 10].

Из (1.9) и (1.11) следует, что на волновых фронтах температура непрерывна, но ее градиент терпит скачок, пропорциональный скачку нормальной составляющей к фронту скорости смещений среды.

Будем называть решение уравнений (1.1), удовлетворяющее на волновых фронтах условиям (1.9) - (1.11), *классическим*.

2. Постановка краевых задач несвязанной термоупругости. Если задать на границе области нагрузки или в самом теле массовые силы это приводит к деформации в теле. при малых скоростях деформации в уравнении для температурного поля (1.1) можно пренебречь скоростью объемной деформации среды ($\eta=0$), тогда краевая задача распадается на две: определение температурного поля, после чего становится возможным определение поля перемещений и напряжений термоупругой среды. такую модель процессов называют *несвязанной термоупругостью* (*теорией температурных напряжений*).

Рассмотрим следующие краевые задачи для этой модели. Пусть термоупругая среда занимает область S^- , ограниченную замкнутой поверхностью ляпунова s с внешней нормалью $n(x)$. Уравнения движения среды в этой модели имеют вид [2]:

$$\begin{aligned} \sigma_{ij,j} - \rho \ddot{u}_i + F_i &= 0, \\ \Delta \theta - \kappa^{-1} \dot{\theta} + Q &= 0, \quad i, j = 1, \dots, N. \end{aligned} \quad (2.1)$$

Здесь $F_i = \rho G_i$, $G(x, t)$ - объемные силы в среде.

Заданы начальные условия (условия Коши):

$$\begin{aligned} u_i(x, 0) &= u_i^0(x), \quad \theta(x, 0) = \theta^0(x), \quad x \in (S^- + S); \quad \dot{u}_i(x, 0) = \dot{u}_i^0(x), \quad x \in S^-, \\ u_i^0 &\in C(S + S^-), \quad \dot{u}_i^0 \in C(S^-). \end{aligned} \quad (2.2)$$

Задача 1. На границе ($x \in S$) известны действующие нагрузка и тепловой поток:

$$\sigma_{ij}(x, t) n_j(x) = p_i(x, t), \quad \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial n} = q(x, t), \quad (2.3)$$

где $p_i(x, t)$, $q(x, t)$ - интегрируемые на S функции.

Задача 2. Для $x \in S$ заданы нагрузки и температура:

$$\begin{aligned} \sigma_{ij}(x, t) n_j(x) &= p_i(x, t), \quad \theta(x, t) = \theta^S(x, t), \quad \theta^S(x, 0) = \theta^0(x), \\ p_i &\in C'(S \times [0, \infty)), \quad \theta^S \in C(S \times [0, \infty)). \end{aligned} \quad (2.4)$$

Задача 3. Для $x \in S$ заданы перемещения и температура:

$$\begin{aligned} u_i(x, t) &= u_i^S(x, t), \quad u_i^S(x, 0) = u_i^0(x); \quad \theta(x, t) = \theta^S(x, t), \quad \theta^S(x, 0) = \theta^0(x), \\ u_i^S &\in C^1(S \times [0, \infty)), \quad \theta^S \in C(S \times [0, \infty)). \end{aligned} \quad (2.5)$$

Задача 4. Для $x \in S$ заданы перемещения и тепловой поток:

$$\begin{aligned} u_i(x, t) &= u_i^S(x, t), \quad u_i^S(x, 0) = u_i^0(x), \quad \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial n} = q(x, t), \\ u_i^S &\in C^1(S \times [0, \infty)), \quad q \in C'(S \times [0, \infty)). \end{aligned} \quad (2.6)$$

Здесь $C(\dots)$ - класс непрерывных на указанном множестве функций, $C'(\dots)$ - кусочно-непрерывные ограниченные функции, $C^1(\dots)$ - непрерывно-дифференцируемые функции.

На фронтах решения удовлетворяют условиям на скачки (1.7) - (1.9). Требуется найти перемещения, температуру, напряжения в среде.

Для решения задач используем метод обобщенных функций (МОФ) основные идеи которого изложены в [11-14].

3. Постановка задачи в пространстве $D_{N+1}'(R^{N+1})$. Рассмотрим уравнения (2.1) в пространстве обобщенных вектор-функций:

$$D_{N+1}'(R^{N+1}) = \hat{f}(x, t) = \left\{ \hat{f}_i(x, t), i = \overline{1, N+1} \right\},$$

где $\hat{f}_i(x, t)$ - обобщенная функция, $\hat{f}_i(x, t) \in D'(R^{N+1})$. Введем характеристическую функцию области S^- :

$$H_S^-(x) = \begin{cases} 1, & x \in S^- \\ 1/2, & x \in S \\ 0, & x \notin S + S^- \end{cases} \quad (3.1)$$

и следующие регулярные обобщенные функции:

$$\hat{u}_i(x, t) = u_i(x, t) H_S^-(x) H(t), \quad \hat{\theta}(x, t) = \theta(x, t) H_S^-(x) H(t),$$

$H(t)$ – функция Хевисайда, $u(x, t), \theta(x, t)$ - классическое решение краевой задачи. Поскольку

$$\frac{\partial}{\partial x_i} H_S^-(x) = -n_i(x) \delta_S(x), \quad \frac{d}{dt} H(t) = \delta(t),$$

где сингулярная обобщенная функция $n_j(x) \delta_S(x)$ - простой слой на S [11], частные производные этих функций в $D_{N+1}^+(R^{N+1})$ имеют вид:

$$\frac{\partial \hat{u}_k}{\partial x_i} = \frac{\partial u_k}{\partial x_i} H_S^-(x) H(t) - u_k n_i(x) \delta_S(x) H(t)$$

$$\frac{\partial^2 \hat{u}_k}{\partial x_i \partial x_j} = \frac{\partial^2 u_k}{\partial x_i \partial x_j} H_S^-(x) H(t) - \frac{\partial u_k}{\partial x_i} n_j(x) \delta_S(x) H(t) - \frac{\partial}{\partial x_j} \{u_k n_i(x) \delta_S(x)\} H(t)$$

$$\frac{\partial \hat{\theta}}{\partial x_j} = \frac{\partial \theta}{\partial x_j} H_S^-(x) H(t) - \theta(x, t) n_j(x) H(t) \delta_S(x), \quad \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial \theta}{\partial t} H_S^-(x) H(t) + \theta(x, 0) H_S^-(x) \delta(t).$$

Тогда уравнения (2.1) в пространстве $D_{N+1}^+(R^{N+1})$ примут вид:

$$\hat{\sigma}_{ij,j} - \rho \ddot{\hat{u}}_i + \hat{F}_i + p_i(x, t) \delta_S(x) H(t) + C_{ij}^{kl} \frac{\partial}{\partial x_j} (n_l(x) u_k(x, t) \delta_S(x) H(t)) + \quad (3.2)$$

$$+ \rho \dot{u}_i^0(x) H_S^-(x) \delta(t) + \rho u_i^0(x) H_S^-(x) \delta'(t) = 0$$

$$\Delta \hat{\theta} - k^{-1} \hat{\theta}_{,t} + \hat{Q}(x, t) + q(x, t) \delta_S(x) H(t) +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial x_j} \{ \theta n_j(x) \delta_S(x) \} H(t) + k^{-1} \theta^0(x) H_S^-(x) \delta(t) = 0. \quad (3.3)$$

Здесь C_{ij}^{kl} – тензор упругих констант, который для изотропной среды имеет вид:

$$C_{ij}^{kl} = \lambda \delta_{ij} \delta_{kl} + \mu (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{kj}) \quad (3.4)$$

Из формул (3.2) и (3.3) видно, что краевые условия рассматриваемых задач вошли в эти уравнения в виде плотностей простых и двойных слоев на S , как поверхностные силы и тепловые источники, а начальные условия как импульсные, действующие в момент $t=0$. Заметим, что при дифференцировании мы учли условия на фронтах (1.9)-(1.1), которые обнуляют простые и двойные слои на фронтах ударных волн [7].

Далее построим обобщенные решения этих краевых задач при плоской деформации ($N = 2$).

4. Определение температурного поля при плоской деформации. Для определения температуры среды используем функцию Грина уравнения теплопроводности (2.1)₂, соответствующую импульсному сосредоточенному тепловому источнику $Q(x, t) = \delta(x) \delta(t)$ [11]:

$$U(x, t) = \frac{H(t)}{4\pi k t} e^{-\frac{\|x\|^2}{4kt}}. \quad (4.1)$$

Обобщенное решение (3.3) ищем в виде свертки функции Грина с действующими источниками в (3.3):

$$\begin{aligned}
 \hat{\theta}(x, t) &= \\
 &= U * \left\{ q(x, t) \delta_S(x) H(t) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\theta_S n_j(x) \delta_S(x) \right) H(t) + k^{-1} \theta^0(x) H_S^-(x) \delta(t) + \hat{Q} \right\} = \\
 &= U * q(x, t) \delta_S(x) H(t) + U, j * \left\{ \theta_S n_j(x) \delta_S(x) \right\} H(t) + U * \theta^0(x) H_S^-(x) + U * \hat{Q}
 \end{aligned}$$

Здесь используем свойства дифференцирования свертки [12, 13]. Переменная под знаком свертки (*) означает, что берется неполная свертка только по этой переменной. Если такой символ отсутствует, то это полная свертка по (x, t) .

Эту формулу для $\theta(x, t)$ можно представить в следующем интегральном виде:

$$\begin{aligned}
 H(t) H_S^-(x) \theta(x, t) &= \\
 &= H(t) \int_0^t d\tau \int_S U(x-y, \tau) q(y, t-\tau) dS(y) - H(t) \int_0^t d\tau \int_S \frac{\partial U(x-y, \tau)}{\partial n(y)} \theta^S(y, t-\tau) dS(y) + \\
 &+ \kappa^{-1} \int_{S^-} U(x-y, t) \theta^0(y) dV(y) + H(t) \int_0^t d\tau \int_{S^-} U(x-y, \tau) Q(y, t-\tau) dV(y),
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

где $dV(x) = dx_1 dx_2$, $dS(y)$ -дифференциал площади поверхности S .

Формула (4.2) позволяет по заданным значениям температуры и теплового потока на границе и начальной температуре определять температурное поле внутри области при действии различных тепловых источников.

Для $x \in S$, $t > 0$ эта же формула дает сингулярное ГИУ для определения неизвестной температуры или теплового потока на границе:

$$\begin{aligned}
 2\pi \theta^S(x, t) &= \\
 &= H(t) \int_S dS(y) \int_0^t \frac{e^{-\frac{r^2}{4k\tau}}}{2k\tau} q(y, t-\tau) d\tau - H(t) V.P. \int_S r \frac{\partial r}{\partial n(y)} dS(y) \int_0^t \frac{e^{-\frac{r^2}{4k^2\tau^2}}}{4k^2\tau^2} \theta^S(y, t-\tau) d\tau \tag{4.3} \\
 &+ \frac{1}{2kt} \int_{S^-} e^{-\frac{r^2}{4k\tau}} \theta^0(y) dV(y) + H(t) \int_{S^-} dV(y) \int_0^t Q(y, t-\tau) \frac{e^{-\frac{r^2}{4k\tau}}}{2k\tau} d\tau.
 \end{aligned}$$

Здесь $r = \|x-y\|$, $r, j = \partial r / \partial y$.

Доказательство справедливости этой формулы для граничных точек можно провести в исходном пространстве-времени. Однако она непосредственно следует из ГИУ для трансформанты Лапласа температуры [6].

После решения этого уравнения на границе определяются неизвестные граничные функции поставленной краевой задачи. После этого по формуле (4.2) можно определить температуру во всей области S^- .

5. Обобщенное решение уравнений для перемещений и его регуляризация. Уравнение (4.2), с учетом закона Дюамеля-Неймана (1.2), можно записать в виде

$$\begin{aligned}
 L_{ij}^e(\partial_x, \partial_t) \hat{u}_i + \hat{G}_i + \rho^{-1} p_i \delta_S(x) H(t) + \rho^{-1} C_{ij}^{kl} \frac{\partial}{\partial x_j} (n_l(x) u_k(x, t) \delta_S(x) H(t)) + \\
 + \dot{u}_i^0(x) H_S^-(x) \delta(t) + u_i^0(x) H_S^-(x) \delta'(t) = 0
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

где $L_{ij}^e(\partial_x, \partial_t)$ - дифференциальный оператор Ламе уравнений движения упругой среды:

$$L_{ij}^e(\partial_x, \partial_t) = \left(c_1^2 - c_2^2 \right) \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} + \delta_i^j \left(c_2^2 \Delta - \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right), \quad i, j = 1, 2.$$

Для определения перемещений используем тензор Грина U_j^k этих уравнений, который удовлетворяет уравнениям Ламе:

$$L_{ij}^e(\partial_x, \partial_t) U_j^k + \delta_i^k \delta(x) \delta(t) = 0, \quad (5.1)$$

и условиям излучения:

$$U_j^k(x, t) = 0 \text{ при } t < 0 \text{ и при } \|x\| > c_1 t \quad (5.2)$$

При плоской деформации он выражается формулой [9]:

$$2\pi U_i^j(x, t) = (2r, i \ r, j - \delta_{ij}) \frac{t^2}{r^2} \left(\frac{c_1 H(c_1 t - r)}{\sqrt{c_1^2 t^2 - r^2}} - \frac{c_2 H(c_2 t - r)}{\sqrt{c_2^2 t^2 - r^2}} \right) + \\ + \left((\delta_{ij} - r, i \ r, j) \frac{H(c_1 t - r)}{c_1 \sqrt{c_1^2 t^2 - r^2}} + r, i \ r, j \frac{H(c_2 t - r)}{c_2 \sqrt{c_2^2 t^2 - r^2}} \right), \quad r, j = x_j / r, \quad r = \|x\|. \quad (5.3)$$

Он обладает следующими свойствами симметрии:

$$U_i^j(x, t) = U_i^j(-x, t) = U_j^i(x, t).$$

Исследование асимптотических свойств этого тензора показало, что он имеет слабую особенность на волновых фронтах $r = c_i t$, не имеет сингулярностей при фиксированном $t > 0$, $r \rightarrow 0$.

Используя свойства тензора Грина и свойства дифференцирования свертки [11], обобщенное решение (5.1) представим в виде тензорно-функциональной свертки:

$$\rho \hat{u}_i^j(x, t) = U_i^j * p_j(x, t) \delta_S(x) H(t) + C_{jm}^{kl} U_i^j, _m * n_l(x) u_k(x, t) \delta_S(x) H(t) + \\ + \rho U_i^j, _x * \dot{u}_j^0(x) H_S^-(x) + \rho U_i^j, _x * u_j^0(x) H_S^-(x) + U_i^j * \hat{F}_j \quad (5.4)$$

Далее записать в интегральном виде соотношение (5.4) не удается, так как производные $U_i^j, _j(x, t)$ во втором слагаемом гиперсингулярны на волновых фронтах $r = c_i t$.

Для регуляризации формулы (5.2) введем первообразную по t тензора Грина $V = U * H(t) \delta(x)$:

$$2\pi V_j^i(x, t) = \delta_{ij} \sum_{k=1}^2 \frac{H(c_k t - r)}{2c_k^2} \ln \left(\frac{c_k t + \sqrt{c_k^2 t^2 - r^2}}{r} \right) - \\ - \frac{(2r, i \ r, j - \delta_{ij})}{r^2} \sum_{k=1}^2 (-1)^k H(c_k t - r) \frac{t}{c_k} \sqrt{c_k^2 t^2 - r^2}. \quad (5.5)$$

Особенности тензора $V_j^i(x, t)$ исследованы в [9]. Первообразная $V_j^i(x, t)$ имеет логарифмическую сингулярность при $r=0$ и непрерывна на волновых фронтах.

Используя $V_j^i(x, t)$ и правила дифференцирования свертки, второе слагаемое в соотношении (5.5) может быть представлено в регуляризованном виде:

$$\begin{aligned} C_{jm}^{kl} U_i^j \cdot_m * n_l(x) u_k(x, t) \delta_S(x) H(t) = \\ = C_{jm}^{kl} V_i^j \cdot_m * n_l(x) \dot{u}_k(x, t) \delta_S(x) H(t) + C_{jm}^{kl} V_i^j \cdot_m * n_l(x) u_k^0(x) \delta_S(x) \end{aligned}$$

В результате обобщенное решение (5.4) примет регуляризированный вид:

$$\begin{aligned} \rho \hat{u}_i(x, t) = U_i^j * p_j(x, t) \delta_S(x) H(t) + C_{jm}^{kl} V_i^j \cdot_m * n_l(x) \dot{u}_k(x, t) \delta_S(x) H(t) + \\ + C_{jm}^{kl} V_i^j \cdot_m * n_l(x) u_k^0(x) \delta_S(x) + \\ + \rho U_i^j * \dot{u}_j^0(x) H_S^-(x) + \rho U_i^j \cdot_x * u_j^0(x) H_S^-(x) + U_i^j * \hat{F}_j, \end{aligned} \quad (5.6)$$

который можно записать в интегральном виде. Для этого рассмотрим тензор напряжений и связанные с ним тензора.

6. Фундаментальные тензоры напряжений. Регуляризация. Введем следующие фундаментальные тензоры напряжений, порождаемые $U_i^j(x, t)$:

$$\begin{aligned} \Sigma_{ij}^k(x, t) = \lambda U_m^k \cdot_m \delta_{ij} + \mu (U_i^k \cdot_j + U_j^k \cdot_i), \\ \Gamma_i^k(x, t, n) = \Sigma_{ij}^k n_j, \quad T_i^k(x, t, n) = -\Gamma_k^i(x, t, n). \end{aligned} \quad (6.1)$$

Тензор $\Gamma_i^k(x, t, n)$ описывает напряжения на площадке с нормалью n , порожденные импульсными сосредоточенными силами в начале координат. Тензор $T_i^k(x, t, n)$ является решением уравнений Ламе при $\|x\| \neq 0$ и описывает перемещения среды при действии импульсного сосредоточенного источника мультипольного типа [15]. Он антисимметричен по x и n :

$$T_i^k(x, t, n) = -T_i^k(-x, t, n) = -T_i^k(x, t, -n)$$

Для интегрального представления формулы (5.6) введем первообразный по t тензор фундаментальных напряжений $W(x, t, n)$:

$$W_i^k(x, t, n) = C_{jm}^{kl} n_l V_i^j \cdot_m = T_i^k(x, t, n) * H(t). \quad (6.2)$$

Этот тензор интегрируем на волновых фронтах и представим в виде:

$$W_i^k(x, t, n) = W_j^{id}(x, t, n) + T_j^{is}(x, n) H(t). \quad (6.3)$$

Динамический тензор $W_j^{id}(x, t, n)$ имеет слабую интегрируемую особенность на волновых фронтах.

Тензор $T_j^{is}(x, n)$ - это тензор фундаментальных напряжений Грина статических уравнений Ламе. Он удовлетворяет однородным уравнениям Ламе при $x \neq 0$ и имеет только одну особенность при $x=0$:

$$T_j^{is}(x, n) \sim K_{ij} / \|x\|, \|x\| \rightarrow 0,$$

где K_{ij} - ограничены.

Для него доказан аналог формулы Гаусса:

$$V.P. \int_S T_j^{is}(x-y, n(y)) dS(y) = \rho H_s^-(x) \delta_j^i. \quad (6.4)$$

Интеграл сингулярный только для граничных точек и берется в смысле главного значения.

7. Регулярное интегральное представление перемещений. Используя первообразный тензор фундаментальных напряжений (6.2) и свойства симметрии тензоров, обобщенное решение (5.6) можно записать в интегральном виде:

$$\begin{aligned} \rho \hat{u}_i(x, t) = & H(t) \int_0^t d\tau \int_S \left\{ U_i^j(y-x, \tau) p_j(y, t-\tau) - W_i^j(y-x, \tau, n(y)) \dot{u}_k(y, t-\tau) \right\} dS(y) + \\ & + H(t) \int_S W_i^j(y-x, t, n(y)) u_k^0(y) dS(y) + \rho H(t) \int_{S^-} U_i^j(y-x, t) \dot{u}_j^0(y) dV(y) + \\ & + \rho H(t) \partial_t \int_{S^-} U_i^j(y-x, t) u_j^0(y) dV(y) + U_i^j * \hat{F}_j, \end{aligned} \quad (7.1)$$

Здесь для $x \notin S$ все интегралы регулярные со слабыми сингулярностями ядер на волновых фронтах. При известном температурном поле и граничным значениям перемещений и напряжений эти формулы позволяют определить перемещения в любой точке упругой среды при любых массовых силах, в том числе сингулярных, которые описывают воздействие сосредоточенных и импульсных силовых источников различного типа. В этом случае покомпонентную свертку $U_i^j * \hat{F}_j$ следует брать согласно правилам сверток в пространстве обобщенных функций.

Для решения краевых задач нужно определить перемещения или напряжения на границе S .

8. Разрешающие сингулярные интегральные уравнения. Верна следующая теорема.

Теорема 2. *Решения начально-краевых задач 1-4 на границе области удовлетворяют граничным интегральным уравнениям:*

$$\begin{aligned} 0,5 \rho u_i(x, t) = & \int_0^t d\tau \int_S \left\{ U_i^j(y-x, \tau) p_j(y, t-\tau) - W_i^{jd}(y-x, \tau, n(y)) \dot{u}_j(y, t-\tau) \right\} dS(y) \\ & - V.P. \int_S T_i^{jS}(y-x^*, n(y)) u_j(y, t) dS(y) + \\ & + \int_{S^-} W_i^{jd}(y-x, t, n(y)) u_k^0(y) dV(y) + \rho \int_{S^-} U_i^j(y-x, t) \dot{u}_j^0(y) dV(y) + \\ & + \rho \partial_t \int_{S^-} U_i^j(y-x, t) u_j^0(y) dV(y) + U_i^j * \hat{F}_j, \quad i, j = 1, 2, \end{aligned} \quad (8.1)$$

для $x \in S, t > 0$.

После определения неизвестных граничных функций, по формулам (7.1) можно определить перемещения в любой точке области. После определения перемещений и температуры по формулам Дюамеля-Неймана (1.2) вычисляются напряжения в среде. Что решает поставленные начально-краевые задачи.

Заключение. Построенные граничные интегральные уравнения (ГИУ) неклассического типа, резко отличаются от ГИУ краевых задач для эллиптических и параболических уравнений для решения которых хорошо разработаны различные математические методы. В частности, использование метода последовательных приближений здесь затруднено из-за наличия неизвестной скорости перемещений (для 1-ой и 2-ой краевых задач). Однако использование численных методов на основе метода граничного элемента позволяет достаточно эффективно решать такого типа уравнения.

Полученные формулы (4.2) и (7.1) имеют важное инженерное приложение. Они позволяют определить термонапряженное состояние среды по граничным значениям напряжений, перемещений, температуры и теплового потока, не решая ГИУ, так как для реальных инженерных задач эти характеристики процесса можно экспериментально измерить на границе. Более того, формулы позволяют рассчитать влияние каждой из этих характеристик процесса на его напряженно-деформированное состояние. Последнее очень важно при проектировании конструкций из термоупругих материалов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Biot M.A. Thermoelasticity and irreversible thermodynamics// Journal Apply Physics. – 1956. - Vol.27. – №3. – P.240-253.
- [2] Новацкий В. Динамические задачи термоупругости. Москва: Мир, 1970 - 256 с.
- [3] Данилевская В.И. О динамической задачи термоупругости// Прикладная математика и механика. - 1952. -Т.16. - №3. - С.341-344.
- [4] Даниловская В.И. Приближенное решение задачи о стационарном температурном поле в тонкой оболочке произвольной формы// Известие АН СССР. Отдел технических наук. - 1957. - №9. - С.157-158.
- [5] Hetnarsri R.B. Encyclopedia of thermal stress. Springer (Dordrecht), 2014. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-2739-7>
- [6] Алексеева Л.А., Дадаева А.Н., Жанбырбаев Метод граничных интегральных уравнений в краевых задачах несвязанной термоэластодинамики //Прикладная математика и механика. - 1999. - Т.63. - №5. С.853-859.
- [7] Alexeyeva L.A., Alipova B.N., Dadayeva A.N. Shock waves as generalized solutions of thermoelastodynamics equations. On the uniqueness of boundary value problems solutions//Journal American Institute of Physics Conference Proceeding. - 2017. - V. 1798. – P.020003-1-020003-8. Doi: 10.1063/1.4972595.
- [8] Купрадзе В.Д., Гегелиа Т.Г., Башелейшвили М.О., Бурчуладзе Т.В. Трехмерные задачи математической теории упругости и термоупругости. Москва:Наука, 1976. - 664 с.
- [9] Айталиев Ш.М., Алексеева Л.А., Дильдабаев Ш.М., Жанбырбаев Н.Б. Метод граничных интегральных уравнений в задачах динамики упругих многосвязных тел. Алма-Ата: Наука, 1992. – 280 с.
- [10] Alexeyeva L.A., Dildabayev Sh.A., Zakiryanova G.K., Zhanbyrbaev A.B. Boundary Integral Equations Method in two-and three-dimensional problems of elastodynamics // Computational mechanics. – 1996. – Vol.18 . – P. 147–157.
- [11] Владимиров В.С. Уравнения математической физики. - Москва: Наука, 1988. - 512 с.
- [12] Дадаева АН, Айнакеева Н.Ж. Обобщенные решения краевых задач динамики термоупругих стержней// Вестник КазНИТУ, Алматы. - 2020. - №2. - С. 690-699.
- [13] Алексеева Л.А. Аналоги формул Кирхгофа и Сомильяны в плоских задачах эластодинамики// ПММ, 1991, Т. 55 - №2. - С. 298-308.
- [14] Алексеева Л.А. Динамические аналоги формул Грина, Гаусса для решений волнового уравнения в $R^n \times t$.// Дифференциальные уравнения. – 1995. - Т.31. - №11. - С.1951-1953.
- [15] Алексеева Л.А., Закирьянова Г.К. Обобщенные решения краевых задач динамики деформируемых твердых тел. Монография. Алматы, 2020. 208 с.

REFERENCES

- [1] Biot M.A. Thermoelasticity and irreversible thermodynamics// Journal Apply Physics. – 1956. - Vol.27. – №3. – P.240-253.
- [2] Novackij V. Dinamicheskie zadachi termouprugosti. Moskva: Mir, 1970 - 256 s.
- [3] Danilevskaja V.I. O dinamicheskoy zadachi termouprugosti// Prikladnaja matematika i mehanika. - 1952. -T.16. - №3. - S.341-344.
- [4] Danilovskaja V.I. Priblizhennoe reshenie zadachi o stacionarnom temperaturnom pole v tonkoj obolochke proizvol'noj formy// Izvestie AN SSSR. Otdel tehnicheskikh nauk. - 1957. - №9. - S.157-158.
- [5] Hetnarsri R.B. Encyclopedia of thermal stress. Springer (Dordrecht), 2014. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-2739-7>
- [6] Alekseeva L.A., Dadaeva A.N., Zhanbyrbaev Metod granichnyh integral'nyh uravnenij v kraevyh zadachah nesvazannoj termojelastodinamiki //Prikladnaja matematika i mehanika. - 1999. - T.63. - №5. S.853-859.
- [7] Alexeyeva L.A., Alipova B.N., Dadayeva A.N. Shock waves as generalized solutions of thermoelastodynamics equations. On the uniqueness of boundary value problems solutions//Journal American Institute of Physics Conference Proceeding. - 2017. - V. 1798. – P.020003-1-020003-8. Doi: 10.1063/1.4972595.
- [8] Kupradze V.D., Gegelia T.G., Bashelejshvili M.O., Burchuladze T.V. Trehmernye zadachi matematicheskoy teorii uprugosti i termouprugosti. Moskva:Nauka, 1976. - 664 s.
- [9] Ajtaliev Sh.M., Alekseeva L.A., Dil'dabaev Sh.M., Zhanbyrbaev N.B. Metod granichnyh integral'nyh uravnenij v zadachah dinamiki uprugih mnogosvaznyh tel. Alma-Ata: Nauka, 1992. – 280 s.
- [10] Alexeyeva L.A., Dildabayev Sh.A., Zakiryanova G.K., Zhanbyrbaev A.B. Boundary Integral Equations Method in two-and three-dimensional problems of elastodynamics // Computational mechanics. – 1996. – Vol.18 . – P. 147–157.
- [11] Vladimirov V.S. Uravnenija matematicheskoy fiziki. - Moskva: Nauka, 1988. - 512 s.
- [12] Dadaeva AN, Ajnakeeva N.Zh. Obobshchennye reshenija kraevyh zadach dinamiki termouprugih sterzhnej// Vestnik KazNITU, Almaty. - 2020. - №2. - S. 690-699.
- [13] Alekseeva L.A. Analogi formul Kirhgofa i Somil'jany v ploskih zadachah jelastodinamiki// PMM, 1991, T. 55 - №2. - S. 298-308.
- [14] Alekseeva L.A. Dinamicheskie analogi formul Grina, Gaussa dlja reshenij volnovogo uravnenija v $R^n \times t$. // Differencial'nye uravnenija. – 1995. - T.31. - №11. - S.1951-1953.
- [15] Alekseeva L.A., Zakirjanova G.K. Obobshchennye reshenija kraevyh zadach dinamiki deformiruemyh tverdyh tel. Monografija. Almaty, 2020. 208 s.

¹Л.А. Алексеева, ²А.Н Дадаева

¹ҚР БжФМ Математика және математикалық модельдеу институты, Алматы, Қазақстан

²Satbayev University, Алматы, Қазақстан

e-mail: alekseeva@math.kz, dady1262@mail.ru

**ЖАЛПЫ ФУНКЦИЯЛАР ӘДІСІ ШЕКТІ МАҢЫЗДЫ
МӘСЕЛЕЛЕР БАЙЛАНЫСПАГАН ТЕРМОЭЛАСТОДИНАМИКА**

Андратпа. Жұлталаған термоэластиканың стационарлық емес шеттік есептері қарастырылған. Шектік интегралды тендеулер әдісі (ШИТӘ) бастапқы кеңістік үақытында жазықтық деформациясы кезіндегі термоэластиканың стационарлық емес шекаралық есептерін шешуге арналған. Жалпыланған функциялар әдісі негізінде жылулық тендеу үшін Грин функциясын және Ақсақ тендеулердің Грин тензорын пайдаланып, әртүрлі типтегі стационарлық емес қуат пен жылу көздерінің әсерінен шекаралық есептердің жалпыланған шешімдері салынады. Шектік есептерді шешудің интегралдық көріністері алынады. Бұл шешімдер белгілі қуаттылық пен жылу жүктемелерінің әсерінен ортасын термиялық кернеулі қүйін анықтау үшін белгілі шекаралық мәндерді және бастапқы жағдайларды (орын ауыстырулар, температура, кернеулер және жылу ағыны) пайдалануға мүмкіндік береді. Шешуші интегралдық тендеулер белгісіз шекаралық функцияларды анықтау үшін құрылады.

Негізгі сөздер: байланыссыз термоэлементтілік, іргелі шешімдер, орын ауыстырулар, температура, кернеулер, жылу ағыны, термоэластикалық соққы толқындары.

¹ L.A. Alexeyeva, ² A.N. Dadayeva

¹Institute of mathematics and mathematical modeling, Almaty, Kazakhstan

²Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

e-mail: alexeeva@math.kz, dady1262@mail.ru

**METHOD OF GENERALIZED FUNCTIONS ON PLANE BOUNDARY PROBLEMS
UNCOUPLED THERMOELASTODYNAMICS**

Abstract. Non-stationary boundary value problems of uncoupled thermoelasticity are considered.

A method of boundary integral equations (BIME) in the initial space-time has been developed for solving non-stationary boundary value problems of thermoelasticity under plane deformation. On the basis of the method of generalized functions, generalized solutions of boundary value problems are constructed using the Green's function for the heat equation and the Green's tensor of the Lame equations under the action of non-stationary power and heat sources of various types. Integral representations of the solution of boundary value problems are obtained. These solutions allow, based on known boundary values and initial conditions (displacements, temperature, stresses and heat flux), to determine the thermally stressed state of the medium under the influence of various power and thermal loads. Resolving boundary integral equations are constructed to determine the unknown boundary functions.

Keywords: uncoupled thermoelasticity, fundamental solutions, displacements, temperature, stresses, heat flux, thermoelastic shock waves.

¹**Ш.Ж. Сеилов, ¹Е.Ш. Журсинбек, ¹А.Т. Кузбаев, ¹Д.Ж. Сатыбалдина, ¹А.А. Сейлов,
¹Д.Ш. Шингисов, ²В.Ю. Гойхман, ³А.К. Леваков, ⁴Н.А. Соколов**

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

²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф.

М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Российская Федерация

³Компания "Искратель", Екатеринбург, Российская Федерация

⁴ Компания "ПРОТЕЙ СТ", Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: seilov_shzh@enu.kz

СЕТЬ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ: МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

Аннотация. В последние годы в научно-технической литературе активно обсуждаются идеи по созданию цифровых двойников для решения широкого круга задач, которые возникают перед предприятиями различного рода. Достижения в областях информационных технологий и разработки необходимого программного обеспечения действительно позволяют получить новые важные результаты за счет создания цифровых двойников. В статье обсуждается предложение по построению сети цифровых двойников, используемой в качестве моделей для решения ряда актуальных задач в сложных системах электросвязи. В качестве примеров таких задач рассматриваются два приложения. Первое приложение – организация информационной обратной связи для предприятий, занятых в жизненном цикле телекоммуникационной сети: "формирование принципов модернизации, разработка оборудования, проектирование, строительство, эксплуатация". Второе приложение – мониторинг трафика, включая его атипичное поведение для того, чтобы избежать повторения ошибочных действий при возникновении нештатных ситуаций. Еще одна важная особенность сети цифровых двойников заключается в том, что она, по всей видимости, станет эффективным инструментом для проведения междисциплинарных исследований.

Ключевые слова: цифровой двойник, сеть, система электросвязи, жизненный цикл, трафик, мониторинг, информационная безопасность, нештатная ситуация.

Введение. Использование функциональных возможностей кибернетической модели [1], названной цифровым двойником (Digital Twin), позволяет решить ряд сложных задач различного рода. Отличие цифрового двойника от привычных математических моделей [2] заключается в том, что он позволяет точнее отображать текущее состояние исследуемого объекта или процесса. При этом цифровой двойник может оперировать не только с реальностью, которая предполагается объективно существующей. Он также может работать с дополненной [3] и с измененной [4] реальностью. Эту особенность цифрового двойника иллюстрирует рисунок 1. Пунктирная линия под третьим номером указывает на связь между дополненной и измененной реальностью. Функциональные возможности такой связи – предмет отдельного изучения.

Особенности цифрового двойника, применительно к одному объекту, хорошо изложены в технической литературе [5, 6, 7]. Задача этой статьи заключается в разработке основ концепции, которая распространяет принципы применения цифровых двойников на совокупность объектов или процессов. В качестве примера такой совокупности выбрана сложная система электросвязи, обеспечивающая поддержку широкого набора услуг.

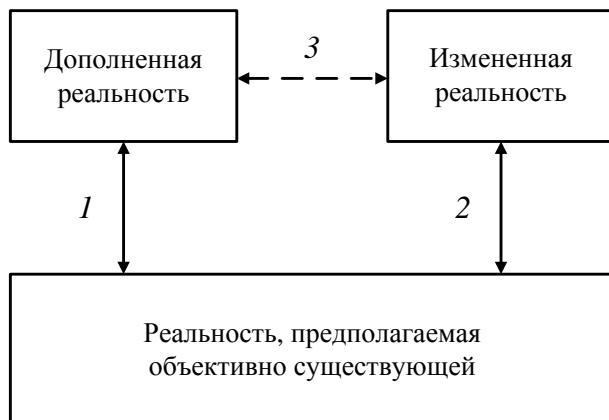


Рисунок 1. Два вида реальности

Обсуждаемая идея направлена на обеспечение устойчивого функционирования сложных систем электросвязи. Разработанные решения иллюстрируются на двух основных примерах.

Первый пример связан с организацией цепочки обратной связи для основных участников инфокоммуникационного рынка, занятых в жизненном цикле, который представлен таким набором операций:

- формирование принципов модернизации эксплуатируемой телекоммуникационной сети;
- разработка оборудования передачи, коммутации и обработки информации;
- составление проектной документации работ, позволяющей приступить к модернизации эксплуатируемой телекоммуникационной сети;
- проведение строительных работ, в результате которых обновляется система электросвязи в целом;
- организация процессов технической эксплуатации с учетом новых свойств системы электросвязи.

Второй пример связан с мониторингом обслуживаемого трафика. Для этого примера рассматривается частный случай, касающийся радикального изменения трафика вследствие возникновения нештатных ситуаций. Мониторинг трафика в таких ситуациях показал, что начинается резкий рост активности пользователей системы электросвязи. Если удается найти рациональные решения по обслуживанию трафика в подобных случаях, то соответствующий опыт необходимо использовать всеми Операторами связи.

Статья состоит из четырех основных разделов. В первом разделе анализируются особенности математических моделей цифрового двойника. Второй раздел содержит предлагаемые концептуальные положения по созданию сети цифровых двойников. Два упомянутых выше примера применения рассматриваемой концепции изложены в третьем и четвертом разделах соответственно.

1. Особенность математических моделей. Одна из часто используемых математических моделей представляет собой черный, серый или белый ящик [2]. Черный ящик рассматривается как объект, о сути которого мы ничего не знаем кроме набора функций вида $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$ и $D(t)$. Эти функции описывают внешнее воздействие, операции, выполняемые черным ящиком, управляющие воздействия и результат соответственно. Для серого ящика, пример которого приведен на рисунке 2, помимо знания функций $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$ и $D(t)$ доступна неполная информация о структуре и функциях исследуемого объекта. Модель в виде белого ящика применяется в тех случаях, когда информация о структуре и функциях исследуемого объекта считается полной и достоверной.

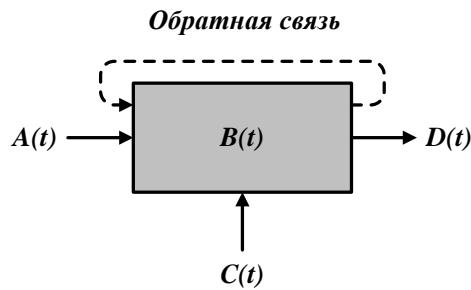


Рисунок 2. Модель "серого ящика"

Важная особенность рассматриваемой модели состоит в том, что в ней реализована петля обратной связи. Она зачастую позволяет заметно повысить ценность модели. К сожалению, на практике не всегда удается создать модель, в которой существует петля обратной связи. Одна из задач цифрового двойника – построение эффективной петли обратной связи, которая может менять свои функции с учетом особенности процессов, протекающих в системе электросвязи.

Эффективность использования математических моделей определяется рядом факторов, среди которых уместно выделить три важных положения:

- степень адекватности предлагаемой модели исследуемому объекту или процессу;
- точность математических операций, выполняемых в процессе исследования модели;
- корректность интерпретации математических результатов для принятия практических решений.

На рисунке 3 показаны три фазы: разработка модели, ее исследование и интерпретация полученных результатов. На каждой фазе реализуются процессы, которые приводят к накоплению ошибок. В результате некая зависимость $F_1(x_1, x_2, x_m)$, которую условно можно считать правильной, постепенно преобразуется в функцию $F_2(y_1, y_2, y_n)$. Эта функция содержит ряд ошибок, которые могут заметно исказить необходимые результаты.

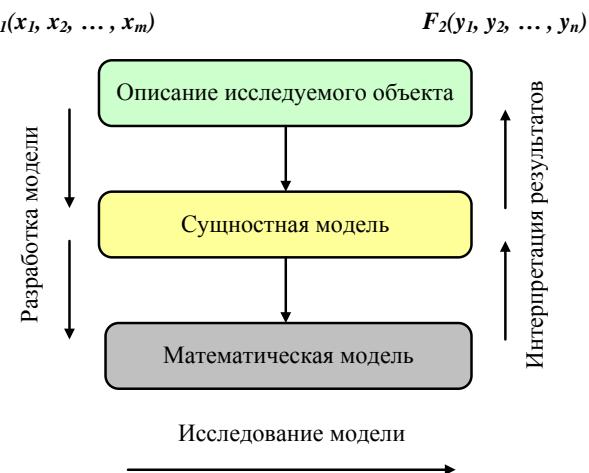


Рисунок 3. Этапы накопления возможных ошибок

Следует отметить, что достижения современной математики позволяют утверждать, что минимальные ошибки в исследовании модели соответствуют положению (б). Минимизация ошибок, определяемых положением (а) обеспечивается использованием модели в виде цифрового двойника. Степень адекватности может приближаться к максимально возможному уровню. В значительной мере такой же вывод относится к положению (в). Однако справедливость такого утверждения связана с использованием

модели в виде сети цифровых двойников. Данная гипотеза рассматривается в следующем разделе настоящей статьи.

2. Модель сети цифровых двойников. На первый взгляд, предлагаемая модель образуется как простая совокупность цифровых двойников (ЦД). На самом деле сеть цифровых двойников представляет собой более сложную конструкцию. На рисунке 4 показана модель, состоящая из семи цифровых двойников. Каждый цифровой двойник служит моделью одного объекта и/или процесса. Типичным примером исследуемого объекта служит узел коммутации. Интерфейсы между элементами модели обозначены как NNI_j – Network Node Interface (интерфейс узел-сеть) j -го типа. Рассматриваемая иллюстрация содержит три типа интерфейсов класса NNI_j – A , B и C .

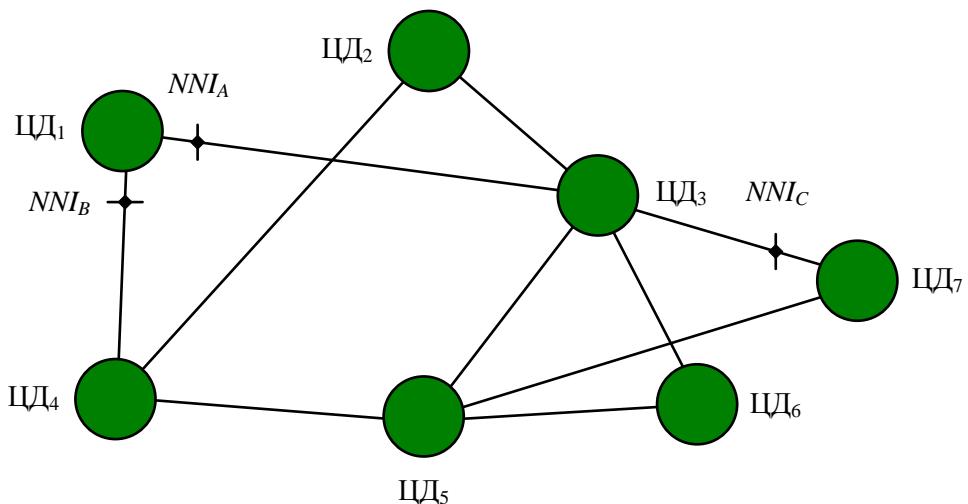


Рисунок 4. Сеть цифровых двойников

Различие интерфейсов определяется, в основном, стеком используемых протоколов [8]. На уровне сетевого доступа, как правило, используется технология Ethernet. На межсетевом и транспортном уровнях обычно доминирует стек протоколов TCP/IP. На прикладном уровне, скорее всего, потребуется разработка нового протокола или даже набора протоколов. Можно утверждать, что в сети цифровых двойников будут широко применяться технологии Big Data [9] – большие данные, Data Mining [10] – интеллектуальный анализ данных, Neural Networks [11] – нейронные сети и им подобные. Очевидно, что в сети цифровых двойников будут широко использоваться и облачные, и туманные вычисления [12, 13].

Информация, накопленная сетью цифровых двойников, станет хорошей базой для разработки сценариев развития телекоммуникационных сетей [14]. Обработка этой информации позволит снизить риски [15], неизбежные для развития сложных систем любого вида вследствие неопределенности и стохастичности движущих сил эволюционных процессов.

Утверждение подобного рода целесообразно проиллюстрировать несколькими примерами. Два таких примера рассматриваются в следующих разделах статьи.

3. Сеть цифровых двойников и петли обратной связи. Жизненный цикл системы электросвязи можно представить в виде пяти последовательных этапов, показанных на рисунке 5. Предполагается, что окончанием жизненного цикла системы электросвязи является качественно новый этап ее модернизации. Это обстоятельство и ограничение количества этапов объясняет использованием слова "упрощенный" в названии предложенной модели.

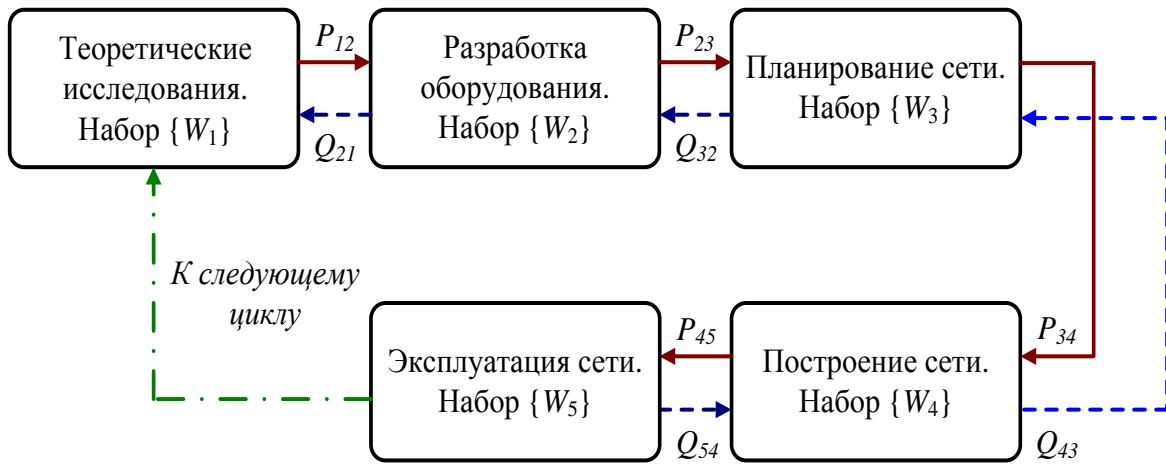


Рисунок 5. Упрощенный жизненный цикл телекоммуникационной сети

Набор W_1 включает совокупность результатов теоретических исследований, которые формируют концепцию создания или модернизации системы электросвязи. Значения остальных наборов W_k ($k = 2, 3, 4, 5$) определяются названиями соответствующих прямоугольников.

Часть полученных результатов используется разработчиками оборудования передачи, коммутации и обработки информации. При этом некоторые теоретические положения пересматриваются. Мера различия решений для этапов i и j ($j=i+1$) обозначена как величина P_{ij} . Величина Q_{ij} считается мерой эффективности обратной связи между разработчиками решений для этапов i и j ($j=i-1$).

Анализ основных этапов жизненного цикла, проведенный для ряда систем электросвязи, показал, что различия P_{ij} бывают весьма существенными, а эффективность обратной связи между разработчиками решений – близкой к нулю. Радикальное изменение сложившейся ситуации может быть обеспечено за счет создания сети цифровых двойников. Эта сеть позволит разработчику решений отслеживать все изменения, вносимые на последующих этапах, и вмешиваться в процессе развития системы электросвязи. Иными словами, могут быть минимизированы значения P_{ij} . Автоматизация обмена информацией обеспечивает максимизацию величин Q_{ij} .

4. Сеть цифровых двойников и мониторинг трафика. Результаты мониторинга трафика служат важной информационной базой для модернизации системы электросвязи [16]. Для реализации функций мониторинга трафика могут использоваться как программное обеспечение узлов коммутации, так и специализированные средства [17]. Показатели качества обслуживания для системы электросвязи определены рекомендациями Международного союза электросвязи [18]. Задача всех основных участников инфокоммуникационного рынка заключается в обеспечении нормированных показателей качества обслуживания мультисервисного трафика [19].

На рисунке 6 показана модель системы электросвязи (левый фрагмент) и ее цифровой двойник (правый фрагмент). Предполагается, что сеть связи состоит из пяти маршрутизаторов. Следовательно, сеть цифровых двойников будет насчитывать пять элементов. Цифровой двойник представляет собой неориентированный граф с вершинами a_i и ребрами b_{ij} . Термины, используемые в предлагаемой конструкции, заимствованы из концепции dia\$par [20]. Эта концепция включает понятие "цифровой двойник" в качестве одного из основных компонентов.

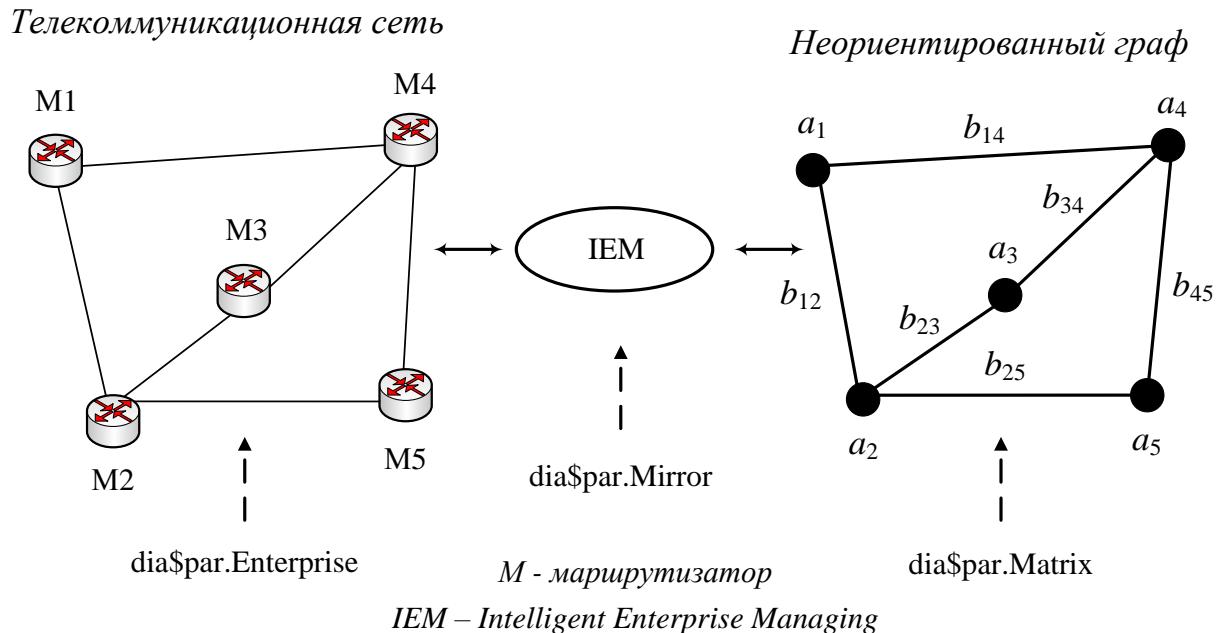


Рисунок 6. Создание цифрового двойника телекоммуникационной сети

Вершинам a_i и ребрам b_{ij} могут быть поставлены в соответствие различные атрибуты телекоммуникационной сети или их совокупность. Типичными примерами таких атрибутов служат: информация о стоимости используемых технических средств, показатели пропускной способности и характеристики надежности и живучести. С точки зрения рассматриваемого примера основной интерес связан с характеристиками обслуживаемого трафика, но оценки стоимости, надежности и живучести также могут быть востребованы.

Результаты, накопленные сетью цифровых двойников, полезны для решения ряда задач. Очень важным аспектом мониторинга трафика считается его поведение при возникновении чрезвычайных ситуаций [21]. Они служат характерным примером нештатных ситуаций, возникающих в системе электросвязи вследствие воздействия внешних факторов.

Трафик в подобных случаях растет лавинообразно. Этот процесс может усугубляться отказами части оборудования, которые наступают из-за разрушающих воздействий, свойственных ряду чрезвычайных ситуаций. Кроме того, может заметно меняться перечень услуг, востребованных пользователями системы электросвязи.

Прообраз сети цифровых двойников позволил решить ряд актуальных проблем, касающихся функционирования мультисервисной сети в условиях чрезвычайных ситуаций [22, 23]. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности использования петель обратной связи, пример которых был приведен в предыдущем разделе данной статьи.

Мониторинг трафика при возникновении чрезвычайных ситуаций служит примером пассивного использования тех функциональных возможностей, которые свойственны сети цифровых двойников. Дополнительные свойства сети цифровых двойников, которые в явном виде не присущи сложным системам, могут использоваться для прогноза их поведения при возникновении нештатных ситуаций различного рода.

Один из характерных примеров нештатных ситуаций – выброс наблюдаемых значений какого-либо процесса. В статистике выбросом считается наблюдаемое значение, заметно отличающееся от остальных элементов выборки [24]. Выбросы, как правило, возникают случайным образом. Они могут быть обусловлены ошибками измерений, а также свидетельствовать о наличии так называемого "тяжелого хвоста" [25]. Возможны также иные причины появления выбросов.

На рисунке 7 показано поведение некой функции $f(x)$, для которой уместно выделить три диапазона по оси абсцисс. Первый диапазон включает значения рассматриваемой функции на отрезке $[0, x_1]$. На отрезке (x_1, x_2) никаких значений функции $f(x)$ не зафиксировано. Последние изменения функции $f(x)$ наблюдаются на отрезке $[x_2, x_3]$. На практике возможно также формирование более трех диапазонов изменения функции $f(x)$.

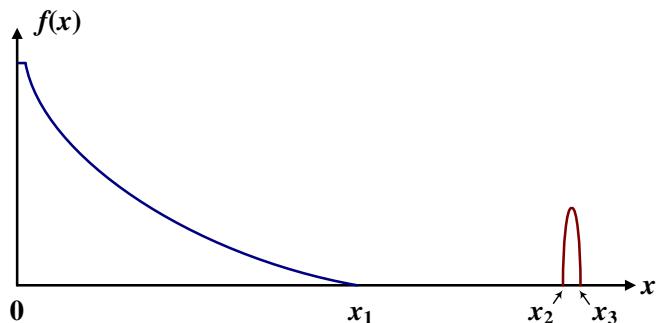


Рисунок 7. Пример поведения функции $f(x)$

Подобные ситуации можно найти, анализируя результаты измерения трафика в Интернет. Они похожи на модель Тьюки-Хьюбера [26], для которой с весьма низкой вероятностью ε исследуемый процесс $f(x)$ представим функцией $h(x)$. При этом с высокой вероятностью, равной $(1 - \varepsilon)$, наблюдается процесс, который описывается функцией $g(x)$:

$$f(x) = (1 - \varepsilon)g(x) + \varepsilon h(x).$$

В сети цифровых двойников можно проводить эксперименты, которые сложно осуществить, задействовав реальные объекты, без серьезных проблем для выполняемых бизнес-процессов. Например, поставлена задача по проверке качества работы телекоммуникационной сети в условиях существенного роста трафика. Если искусственно создать такой трафик, то в телекоммуникационной сети возникнет проблема с качеством обслуживания, что может привести к появлению жалоб и необходимости оплатить штрафы тем пользователям, которые заключили с Оператором связи соглашение об уровне обслуживания [27]. В сети цифровых двойников эксперимент с резким ростом трафика не приведет к отрицательным последствиям.

Применение модели Тьюки-Хьюбера и им подобных конструкций позволит получать прогностические оценки, необходимые для выбора пути модернизации сложных систем. Следует подчеркнуть, что прогнозы, основанные на использовании сети цифровых двойников, обычно дают ответ на вопрос: "Что будет?". Резонный вопрос: "Почему это может случиться?" требует самостоятельного исследования, для которого сеть цифровых двойников не всегда будет эффективным инструментом. Добиться приемлемого уровня эффективности можно в том случае, если изначально сложная система построена на основе рационального решения [28]. В этом случае сложная система устойчива при изменении внешних и внутренних факторов, влияющих на стабильность ее функционирования.

Не исключено, для решения задач прогнозирования некоторые модели в составе сети цифровых двойников придется дорабатывать. Трудоемкость доработки будет зависеть от характера той сложной системы, для которой создается сеть цифровых двойников. Более того, в ряде случаев будет полезна совместная работа двух и более сетей цифровых двойников.

Для иллюстрации последнего утверждения можно привести пример, который иногда приводят специалисты по технологиям Big Data и Data Mining [9, 10]. На одном предприятии

● Физико-математические науки

время от времени возникали массовые отказы в электронных блоках, которые собирались вручную. Закономерность возникновения отказов в течение долгого времени выявить не удавалось. Потом один из специалистов обратил внимание, что монтаж этих блоков осуществлялся преимущественно молодыми женщинами. Анализ периодов времени, в течение которых наблюдались отказы, и поздних сроков беременности ряда сотрудниц, занятых монтажом электронных блоков, позволил установить искомую закономерность. Повышенная потливость при сборке влияла на качество контактов, что приводило к отказам блоков. После того, как беременные сотрудницы перед выходом в декретный отпуск заблаговременно переводились на выполнение других работ, отказы прекратились.

Для получения подобных результатов должна быть предусмотрена возможность объединения тех сетей цифровых двойников, которые изначально создаются для решения абсолютно разных задач. Таким образом, можно говорить, что следует ориентироваться на объединение сетей цифровых двойников, что является весьма сложной задачей. В результате такого объединения создаются своего рода суперсеть цифровых двойников.

Заключение. Идею построения сети цифровых двойников, судя по публикациям, которые известны авторам, можно считать пионерской. Разработка соответствующей полноценной концепции – предмет самостоятельной кропотливой работы, основанной, в том числе, на методах междисциплинарных исследований [29]. Тем не менее, два примера, рассмотренных в данной статье, иллюстрируют серьезные потенциальные возможности сети цифровых двойников для улучшения работы цикла "формирование принципов модернизации, разработка оборудования, проектирование, строительство, эксплуатация".

Сеть цифровых двойников, как один из видов моделей [2], способна расширить инструментарий научных исследований. Она не заменяет используемые ранее модели, а дополняет их новыми возможностями. Не исключено, что сеть цифровых двойников породит синергетический эффект [30] в сфере математического моделирования.

Важная задача, требующая отдельного исследования, заключается в обеспечении информационной безопасности [31, 32] сети цифровых двойников. По всей видимости, такой задаче будет присущ высокий уровень сложности. С другой стороны, сеть цифровых двойников за счет потенциальной возможности по выявлению разных каналов утечки информации сама может стать дополнительным инструментом повышения информационной безопасности.

По этим причинам авторы занялись исследованиями, связанными с сетями цифровых двойников, и решили ознакомить с полученными результатами читателей журнала. Мы будем рады отклику читателей и расширению круга специалистов, которые заинтересованы в тематике, прямо либо косвенно относящейся к феномену "сеть цифровых двойников".

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ashby W.R. An Introduction to Cybernetics. – Martino Fine Books, 2015.- 306 р.
- [2] Мышкис А.Д. Элементы теории математических моделей. – М.: Книжный дом "Либрином", 2011. - 192 с.
- [3] Varnum K.J. Beyond Reality: Augmented, Virtual, and Mixed Reality in the Library. – ALA Editions, 2019. - 144 р.
- [4] Леваков А.К., Соколов Н.А. Концепция "Измененная реальность"// Вестник связи. – 2018. - №11. - С. 3–6.
- [5] Michael E.A., Kalyan R.B. Cyber-physical Systems and Digital Twins: Proceedings of the 16th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation. – Springer, 2020. - 862 р.
- [6] Farsi M., Daneshkhah A., Hosseiniyan-Far A., Jahankhan H. Digital Twin Technologies and Smart Cities (Internet of Things). – Springer, 2019. - 212 р.
- [7] Digital twin – Driving business value throughout the building life cycle. – Siemens White Paper. – Siemens Switzerland Ltd., 2018. - 16 р.
- [8] Comer D. Internetworking with TCP/IP. Volume One (6th Edition). – Pearson, 2013. - 774 р.

- [9] Erl T., Khattak W., Buhler P. *Big Data Fundamentals: Concepts, Drivers & Techniques*. – Prentice Hall, 2015. - 218 p.
- [10] Han J., Kamber M., Pei J. *Data Mining. Concept and Techniques*. – Morgan Kaufmann Publishers, 2011. - 703 p.
- [11] Aggarwal C.C. *Neural Networks and Deep Learning*. – Springer, 2018. - 497 p.
- [12] Erl T., Mahmood Z., Puttini R. *Cloud Computing: Concepts, Technology & Architecture*. – Prentice Hall, 2013. - 528 p.
- [13] Chiang M., Balasubramanian B., Bonomi F. *Fog for 5G and IoT*. – Wiley, 2017. -305 p.
- [14] Huss W.R. *A move towards scenarios*//*International Journal of Forecasting*. – 1988. - N4. - P. 377–388.
- [15] Yoe C. *Principles of Risk Analysis: Decision Making Under Uncertainty*// CRC Press. – 2011. - 584 p.
- [16] ITU-D. *Teletraffic Engineering Handbook* (edited by V.B. Iversen). – Geneva, 2003. - 321 p.
- [17] Goichman V., Esalov K., Sokolov N. Using specialized computer systems to study the characteristics of telecommunication networks // Proceedings of the FRUCT'18 Saint-Petersburg, 18-22 April 2016. -p. 456–462.
- [18] ITU-T. Definitions of terms related to quality of service. Recommendation E.800. – Geneva, 2008. - 30 p.
- [19] Barreiros M., Lundqvist P. *QOS-Enabled Networks: Tools and Foundations*. – Wiley, 2016. - 233 p.
- [20] <https://diasparbusiness.com/cis-ru/diaspar-basics/>.
- [21] ITU-T. *Next Generation Networks – Emergency telecommunications – Technical considerations*. Recommendation Y.2205. – Geneva, 2011. - 52 p.
- [22] Levakov A., Sokolov N. Access to Emergency services during overload traffic period // 12th International Conference "Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking"/. - St. Petersburg, 2012. - p. 424–428.
- [23] Levakov A.K., Sokolov N.A. Three algorithms for traffic limitation in emergencies // Selected Papers of the IX Conference "Information and Telecommunication Technologies and Mathematical Modeling of High-Tech Systems"/. - Moscow, Russia, 2019. - p. 84–91.
- [24] Grubbs F.E. Procedures for detecting outlying observations in samples// *Technometrics*, 1969. - Vol. 11, № 1. - p. 1–21.
- [25] Foss S., Korshunov D, Zachary S. *An Introduction to Heavy-Tailed and Subexponential Distributions*. – Springer, 2013. - 156 p.
- [26] Tukey J.W. *A survey of sampling from contaminated distributions*. – Contributions to Probability and Statistics, Stanford University Press, 1960. - p. 448–485.
- [27] Fawaz W., Daheb B., Audoin O., Du-Pond M., Pujolle J.: *Service Level Agreement and Provisioning in Optical Networks* // *IEEE Communication Magazine*, 2004. - Vol. 42. -p. 36–43.
- [28] Sokolov A., Sokolov N. Rational solutions for development of telecommunications networks// *T-Comm*, 2014. - Vol. 8, №6. -p. 81–84.
- [29] Вывявление приоритетных научных направлений: междисциплинарный подход. // Отв. ред. И.Я. Кобринская, В.И. Тищенко. – М.: ИМЭМО РАН, 2016. - 181 с.
- [30] Абдокова Л.З. Синергетический эффект как результат эффективного управления. // *Фундаментальные исследования*, 2016. - № 10 (часть 3). - с. 581–584.
- [31] Запечников С.В., Милославская Н.Г., Толстой А.И., Ушаков Д.В. *Информационная безопасность открытых систем. Том 1: Угрозы, уязвимости, атаки и подходы к защите*. - М.: Горячая Линия – Телеком, 2006. - 536 с.
- [32] Запечников С.В., Милославская Н.Г., Толстой А.И., Ушаков Д.В. *Информационная безопасность открытых систем. Том 2: Средства защиты в сетях*. - М.: Горячая Линия – Телеком, 2008. - 560 с.
- [33] Сейлов Ш.Ж., Гойхман В.Ю., Касенова М.Н., Кузбаев А.Т., Сейлов А.А., Соколов Н.А., Шингисов Д.С. Исследование характеристик трафика мультисервисных сетей: Анализ вероятностно-временных характеристик инфокоммуникационного трафика. -Нур-Султан: ТОО “Халық-Медиа”, 2020. - 105 с.

REFERENCES

- [1] Ashby W.R. An Introduction to Cybernetics. – Martino Fine Books, 2015.- 306 p.
- [2] Myshkis A.D. Jelementy teorii matematicheskikh modelej. – M.: Knizhnyj dom "Librikom", 2011. - 192 s.
- [3] Varnum K.J. Beyond Reality: Augmented, Virtual, and Mixed Reality in the Library. – ALA Editions, 2019. - 144 p.
- [4] Levakov A.K., Sokolov N.A. Koncepcija "Izmenennaja real'nost'"// Vestnik svjazi. – 2018. - №11. - S. 3–6.
- [5] Michael E.A., Kalyan R.B. Cyber-physical Systems and Digital Twins: Proceedings of the 16th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation. – Springer, 2020. - 862 p.
- [6] Farsi M., Daneshkhah A., Hosseiniyan-Far A., Jahankhan H. Digital Twin Technologies and Smart Cities (Internet of Things). – Springer, 2019. - 212 p.
- [7] Digital twin – Driving business value throughout the building life cycle. – Siemens White Paper. – Siemens Switzerland Ltd., 2018. - 16 p.
- [8] Comer D. Internetworking with TCP/IP. Volume One (6th Edition). – Pearson, 2013. - 774 p.
- [9] Erl T., Khattak W., Buhler P. Big Data Fundamentals: Concepts, Drivers & Techniques. – Prentice Hall, 2015. - 218 p.
- [10] Han J., Kamber M., Pei J. Data Mining. Concept and Techniques. – Morgan Kaufmann Publishers, 2011. - 703 p.
- [11] Aggarwal C.C. Neural Networks and Deep Learning. – Springer, 2018. - 497 p.
- [12] Erl T., Mahmood Z., Puttini R. Cloud Computing: Concepts, Technology & Architecture. – Prentice Hall, 2013. - 528 p.
- [13] Chiang M., Balasubramanian B., Bonomi F. Fog for 5G and IoT. – Wiley, 2017. -305 p.
- [14] Huss W.R. A move towards scenarios//International Journal of Forecasting. – 1988. - N4. - P. 377–388.
- [15] Yoe C. Principles of Risk Analysis: Decision Making Under Uncertainty// CRC Press. – 2011. - 584 p.
- [16] ITU-D. Teletraffic Engineering Handbook (edited by V.B. Iversen). – Geneva, 2003. - 321 p.
- [17] Goichman V., Esalov K., Sokolov N. Using specialized computer systems to study the characteristics of telecommunication networks // Proceedings of the FRUCT'18 Saint-Petersburg, 18-22 April 2016. -p. 456–462.
- [18] ITU-T. Definitions of terms related to quality of service. Recommendation E.800. – Geneva, 2008. - 30 p.
- [19] Barreiros M., Lundqvist P. QOS-Enabled Networks: Tools and Foundations. – Wiley, 2016. - 233 p.
- [20] <https://diasparbusiness.com/cis-ru/diaspar-basics/>.
- [21] ITU-T. Next Generation Networks – Emergency telecommunications – Technical considerations. Recommendation Y.2205. – Geneva, 2011. - 52 p.
- [22] Levakov A., Sokolov N. Access to Emergency services during overload traffic period // 12th International Conference "Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking"/. - St. Petersburg, 2012. - p. 424–428.
- [23] Levakov A.K., Sokolov N.A. Three algorithms for traffic limitation in emergencies // Selected Papers of the IX Conference "Information and Telecommunication Technologies and Mathematical Modeling of High-Tech Systems"/. - Moscow, Russia, 2019. - p. 84–91.
- [24] Grubbs F.E. Procedures for detecting outlying observations in samples// Technometrics, 1969. - Vol. 11, № 1. - p. 1–21.
- [25] Foss S., Korshunov D, Zachary S. An Introduction to Heavy-Tailed and Subexponential Distributions. – Springer, 2013. - 156 p.
- [26] Tukey J.W. A survey of sampling from contaminated distributions. – Contributions to Probability and Statistics, Stanford University Press, 1960. - p. 448–485.
- [27] Fawaz W., Daheb B., Audoin O., Du-Pond M., Pujolle J.: Service Level Agreement and Provisioning in Optical Networks // IEEE Communication Magazine, 2004. - Vol. 42. -p. 36–43.
- [28] Sokolov A., Sokolov N. Rational solutions for development of telecommunications networks// T-Comm, 2014. - Vol. 8, №6. -p. 81–84.

- [29] Vyjavlenie prioritetnyh nauchnyh napravlenij: mezhdisciplinarnyj podhod. // Otv. red. I.Ja. Koprinskaja, V.I. Tishchenko. – M.: IMJeMO RAN, 2016. - 181 s.
- [30] Abdokova L.Z. Sinergeticheskij effekt kak rezul'tat effektivnogo upravlenija. // Fundamental'nye issledovaniya, 2016. - № 10 (chast' 3). - s. 581–584.
- [31] Zaapechnikov S.V., Miloslavskaja N.G., Tolstoj A.I., Ushakov D.V. Informacionnaja bezopasnost' otkrytyh sistem. Tom 1: Ugrozy, ujazvimosti, ataki i podhody k zashhite. - M.: Gorjachaja Linija – Telekom, 2006. - 536 s.
- [32] Zaapechnikov S.V., Miloslavskaja N.G., Tolstoj A.I., Ushakov D.V. Informacionnaja bezopasnost' otkrytyh sistem. Tom 2: Sredstva zashhity v setjah. - M.: Gorjachaja Linija – Telekom, 2008. - 560 s.
- [33] Seilov Sh.Zh., Gojman V.Ju., Kasanova M.N., Kuzbaev A.T., Sejlov A.A., Sokolov N.A., Shingisov D.S. Issledovanie harakteristik trafika mul'tiservisnyh setej: Analiz verojatnostno-vremennyh harakteristik infokommunikacionnogo trafika. -Nur-Sultan: TOO "Halyk-Media", 2020. - 105 s.

¹Sh.Zh.Seilov, ¹E. Sh.Zhursinbek, ¹A.T.Kuzbaev, ¹D. Zh.Satybaldina, ¹A.A.Seilov, ¹D.Sh.Shingisov,

² V.Yu.Goikhman, ³A.K.Levakov, ⁴N.A. Sokolov

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

²The Bonch-Bruevich St. Petersburg State University of Telecommunications,
Saint Petersburg, Russian Federation

³ "Iskratel" company, Yekaterinburg, Russian Federation

⁴ "PROTEI ST" company, Saint Petersburg, Russian Federation
e-mail: seilov_shzh@enu.kz

NETWORK OF DIGITAL TWINS: MODEL FOR TELECOMMUNICATION SYSTEM INVESTIGATION

Abstract. In recent years, the scientific and technical literature has been actively discussing ideas for creating digital twins to solve a wide range of problems that arise before enterprises of various kinds. Advances in information technology and the development of essential software are indeed delivering important new results through the creation of digital twins. The article discusses a proposal for the construction of a network of digital twins used as models for solving a number of urgent problems in complex telecommunication systems. Two applications are considered as examples of such tasks. The first application is the organization of information feedback for enterprises engaged in the life cycle of a telecommunications network: "the formation of modernization principles, equipment development, design, construction, operation." The second application is traffic monitoring, including its atypical behaviour in order to avoid repeating erroneous actions in the event of abnormal situations.

Keywords. digital twin, network, telecommunication system, life cycle, traffic, information security, monitoring emergency situation.

¹Ш.Ж. Сейлов, ¹Е.Ш. Журсинбек, ¹А.Т. Кузбаев, ¹Д.Ж. Сатыбалдина, ¹А.А. Сейлов,

¹Д.Ш. Шингисов, ²В.Ю. Гойхман, ³А.К. Леваков, ⁴Н.А. Соколов

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

²М.А. Бонч-Бруевич атындағы Санкт-Петербург мемлекеттік телекоммуникация
университеті, Санкт-Петербург, Ресей Федерациясы

³ "Искрател" компаниясы, Екатеринбург, Ресей Федерациясы

⁴ "ПРОТЕЙ СТ" компаниясы, Санкт-Петербург, Ресей Федерациясы
e-mail: seilov_shzh@enu.kz

ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗДЕР ЖЕЛІСІ: ЭЛЕКТРБАЙЛАНЫС ЖУЙЕСІН ЗЕРТТЕУ МОДЕЛІ

Аннотация. Соңғы жылдары ғылыми-техникалық әдебиеттерде әртүрлі типтегі кәсіпорындар алдында туындастын көптеген мәселелерді шешу үшін цифрлық егіздерді құру идеялары белсенді түрде талқылануда. Ақпараттық технологиялар мен қажетті бағдарламалық жасақтаманың дамуы

● Физико-математические науки

шынымен де цифрлы егіздерді құру арқылы маңызды жаңа нәтижелерге кол жеткізуде. Макалада күрделі электрбайланыс жүйелердегі бірқатар өзекті мәселелерді шешуге модель ретінде қолданылатын цифрлық егіздер желісін құру туралы ұсыныс талқыланады. Осындай қосымшалардың мысалдары ретінде екі қосымша қарастырылады. Бірінші қосымша телекоммуникация желісінің өмірлік циклімен айналысатын кәсіпорындар үшін ақпараттық кері байланысты ұйымдастыру болып табылады: «модернизация қағидаларын қалыптастыру, жабдықты әзірлеу, жобалау, салу, пайдалану». Екінші қосымша - бұл әдеттен тыс жағдайлар туындаған кезде қате әрекеттерді қайталаамас үшін трафикті бақылау, оның типтік емес әрекеті. Цифрлық егіз желінің тағы бір маңызды ерекшелігі - бұл пәнаралық зерттеулердің тиімді құралына айналуы мүмкін.

Негізгі сөздер: цифрлық егіздік, желі, электрбайланыс жүйесі, өмірлік цикл, трафик, мониторинг, ақпараттық қауіпсіздік, төтенше жағдай.

• ХИМИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 669.33(043)

<https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.v143.i1.14>

¹С.Б. Абиков, ²Е.О. Килибаев, ²Б.У. Байхожаева, ²Е.Т. Абсентов, ³О.В. Чернышова

¹Satbayev University, Алматы, Казахстан

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

³Московский технологический университет, Россия

e-mail: suiyeu_81@mail.ru

ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СМЕСИ АРСЕНАТА КАЛЬЦИЯ С ПИРИТОМ

Аннотация. В источниках научной литературы еще мало систематизированных данных о фазовых равновесиях, возможных формах и составах образующихся при пиролизе арсенатных соединений, кинетических характеристиках протекающих процессов. Несмотря на то, что такие подходы достаточно отработаны на практике увеличение содержания мышьяка в первичном сырье уже внесла свои корректизы и требует проведения дополнительных исследований как в части теории о фазовых равновесиях оксидов и арсенат-арсенитных соединений, так и в части использования полученных новых данных для выработки оптимальных решений для практики. В работе представлены результаты термогравиметрических исследований синтезированного арсената кальция и его смеси с пиритом в атмосфере воздуха, азота и в вакууме. Раскрыты механизмы дегидратации арсената кальция и его сульфидирования пиритом при нагреве. Рассчитаны значения кажущихся энергий активаций протекающих процессов.

Ключевые слова: арсенат кальция, термогравиметрические кривые, дегидратация, кинетические характеристики, энергия активации, механизм сульфидирования.

Введение. На металлургических предприятиях Казахстана мышьяк, поступающий вместе с сырьем цветных и благородных металлов в металлургическое производство, как правило, выводится из процессов в форме устойчивых оксидов и сульфидов мышьяка, а также в форме арсенатов, с последующей либо их переработкой, либо дальнейшим захоронением.

Следует отметить, что сущность большинства предложенных методов обезвреживания получаемых на практике арсенатных кеков состоит в их термической обработке в смеси с различными реагентами. Разработаны способы остекления арсенатных кеков растворением их в отвальных шлаках [1,2], стабилизации их состава цементом [3], отгонки мышьяка в сульфидной форме [4] и сульфидирования арсената кальция с дальнейшим получением соединений, близких по составу природным [5]. Все эти способы связаны с процессами высокотемпературных превращений арсенатов кальция. Между тем, в литературе еще мало систематизированных данных о фазовых равновесиях, возможных формах и составах образующихся при пиролизе арсенатных соединений, кинетических характеристиках протекающих процессов. Несмотря на то, что такие подходы достаточно отработаны на практике увеличение содержания мышьяка в первичном сырье уже внесла свои корректизы и требует проведения дополнительных исследований как в части теории о фазовых равновесиях оксидов и арсенат-арсенитных соединений, так и в части использования полученных новых данных для выработки оптимальных решений для практики. Кроме того, в научной литературе не достаточно полно систематизированы данные о фазовых

равновесиях мышьяксодержащих термодинамических систем, отсутствуют данные о возможных формах и составах образующихся при пиролизе арсенатных соединений, не достаточно изучены кинетические характеристики протекающих процессов.

Методы. В настоящей работе приведены результаты термогравиметрических исследований термической обработки синтезированного арсената кальция и его смеси с пиритом в различной атмосфере с определением кинетических характеристик и построением диаграмм фазовых равновесий.

Исследования проводились на термогравиметрической установке компании «NETZSCH».

На первом этапе были проведены термогравиметрические исследования синтезированного арсената кальция.

Синтезирование арсената кальция проводили из растворов гидрооксида кальция и мышьяковой кислоты. Растворы смешивали в стехиометрическом количестве и интенсивно перемешивали в течение 20 часов при температуре 70 - 80 °C и pH = 8 - 8,5. Выпавший осадок сушили при 130 °C под вакуумом. Далее полученный осадок подвергали рентгенофазовому анализу, результаты которого показали идентичность полученного образца арсенату кальция $Ca_3(AsO_4)_2 \cdot 2H_2O$. Полученный арсенат кальция был использован при проведении всех последующих опытов.

Термогравиметрические исследования синтезированного арсената кальция проводились в атмосфере азота, воздуха и вакуума. Температура опытов составляла 900 °C и 1140 °C, со скоростью нагрева 20 градусов в минуту. Навеска во всех опытах была постоянной и составляла 40 мг.

Тепловые (эндо- и экзотермические) эффекты протекающих при нагреве процессов измерялись исходя из графиков, полученных в результате дифференциально-термического анализа (DTA), а изменения массы навески при нагреве фиксировались термогравиметрической кривой (TG).

Результаты и обсуждение. Полученные результаты термогравиметрических исследований представлены на рис.1.

Нетрудно видеть, что при нагреве арсената кальция в атмосфере воздуха на кривой ТГ вначале наблюдается незначительный прирост массы. При дальнейшем ее нагреве и достижении температуры 434 °C вес массы начинает постепенно снижаться.

Из данных DTA видно, что при температурах 450,1 °C и 712,0 °C происходят эндотермические эффекты, а при температуре 566,1 °C наблюдается экзотермический эффект.

При нагреве арсената кальция в атмосфере азота на кривой TG при температуре 385 °C наблюдается незначительный рост массы. Затем, по-видимому, за счет улетучивания газообразных веществ, наблюдается постепенное снижение массы. При общей убыли массы равной 7,08 %, остаточная масса навески после опыта составили 37,488 мг.

По данным DTA зафиксирован один эндотермический эффект - при температуре 417 °C. Экзотермических эффектов не обнаружено.

При нагреве арсената кальция в вакууме на кривой TG вначале наблюдается увеличение массы, затем при дальнейшем нагреве до температуры 421,9 °C происходит плавное снижение массы. Убыль массы за этот отрезок времени составляет - 1,47 %.

По данным DTA эндотермические эффекты наблюдаются при температурах 436,5 °C и 676,9 °C, а экзотермические эффекты происходят при температурах 555,1 °C и 715,2 °C.

Оценку кинетических закономерностей наблюдаемых процессов проводили путем расчетов значений кажущейся энергии активации для среднего температурного интервала, соответствующего процессу дегидратации ортоарсената кальция (400-480 °C). В расчетах использовали результаты кривых ТГ термограмм в воздушной среде и уравнение Аррениуса:

$$E = \frac{2,3R \cdot \lg \frac{V_1}{V_2}}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}}, \quad (1)$$

где R - газовая постоянная; V_1 и V_2 - изменение массы в единицу времени, рассчитанные по термогравиметрической кривой ТГ; T_1 и T_2 - исследуемые температуры.

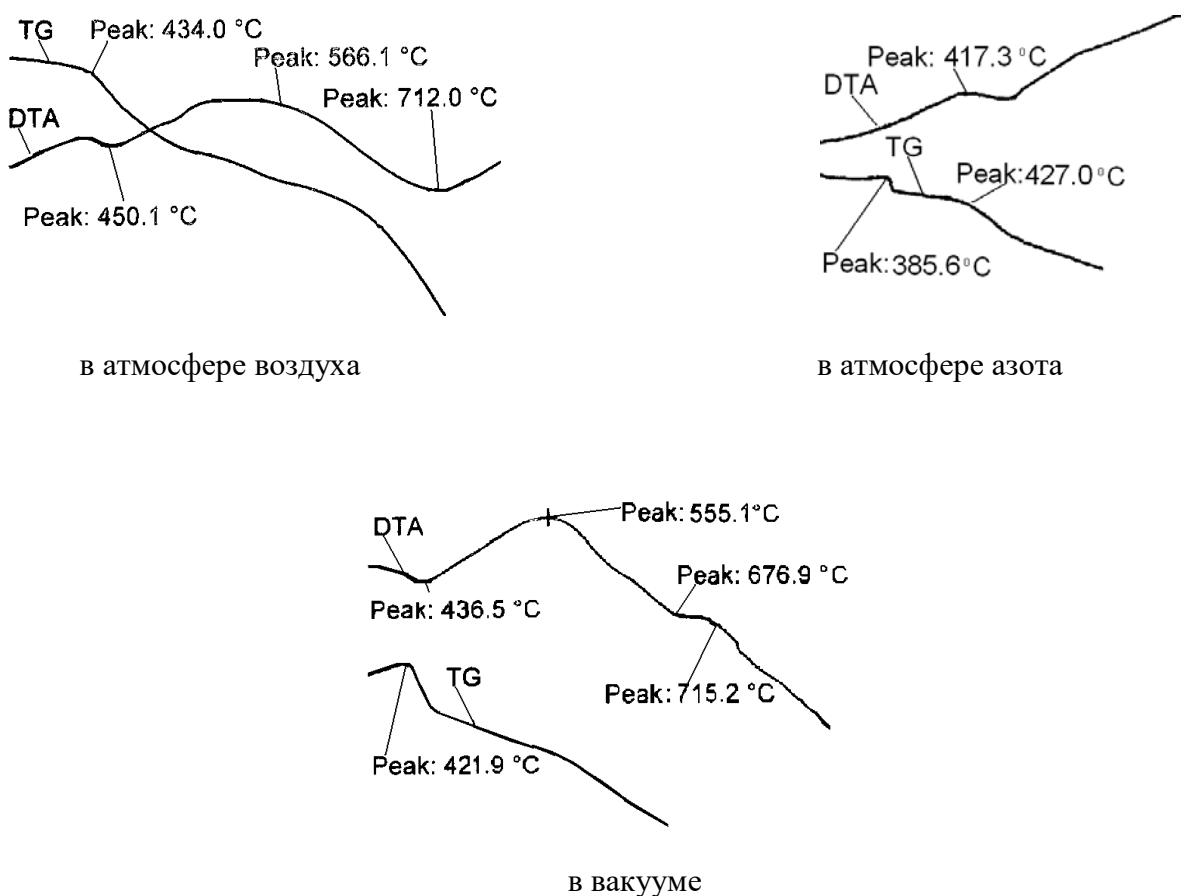


Рисунок 1 - Термогравитограммы синтетического арсената кальция в различной атмосфере

Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Значения энергии активации процесса дегидратации ортоарсената кальция в воздушной среде

Температура, °C	Энергия активации, кДж/моль
400	13,7
420	10,2
440	6,5
460	4,7
480	4,6

Расчетные значения энергии активации свидетельствуют о том, что процесс дегидратации ортоарсената кальция протекает в диффузионном режиме и, вероятно, ограничивается скоростью массопереноса отделяемых от ядра молекул воды.

Сравнительный анализ полученных термогравитограмм показывает, что основными превращениями при нагревании синтетического арсената кальция являются процессы дегидратации 2-х водного арсената кальция и разложения сопутствующих соединений кальция.

Нагрев синтетического арсената кальция сопровождается несколькими эндотермическими эффектами с потерей массы. Так, в воздушной среде отмечаются эндотермические эффекты при температурах 450 °C и 712 °C. Согласно данным работы [5] эти эффекты могут быть отнесены к дегидратации ортоарсената кальция $Ca_3(AsO_4)_2 \cdot 2H_2O$ с потерей кристаллогидратной влаги и разложению гидрооксида кальция $Ca(OH)_2$.

В атмосфере азота и в вакууме эти процессы протекают при низкой температуре. При дальнейшем нагреве безводный ортоарсенат $Ca_3(AsO_4)_2$ не претерпевает изменений, поскольку остается устойчивым до температуры 1000 °C [5].

Расчетные значения кажущейся энергии активации для исследованного температурного интервала показывают, что процесс дегидратации ортоарсената кальция протекает в диффузионном режиме.

На втором этапе проводили термический анализ смеси арсената кальция с пиритом в атмосфере воздуха и в вакууме. Результаты исследований представлены на рис.2 и 3.

Анализ термогравиметрических кривых смеси пирита и арсената кальция показывает, что в атмосфере воздуха (рис.2.) при нагреве образца сначала идет процесс дегидратации ортоарсената кальция $Ca_3(AsO_4)_2 \cdot 2H_2O$ с потерей гидратной влаги, затем при температуре 440 - 450 °C начинается процесс разложения пирита, сопровождающийся резким снижением массы образца. При температуре выше 500 °C последовательно протекают процессы обогащения пирротинов серой (получение более высокосернистых пирротинов) с соответствующими эндотермическими эффектами на кривой ДТА.

В вакууме (рис.3.) последовательно протекают процессы дегидратации ортоарсената кальция и разложения пирита при температуре выше 560 °C.

По полученным термогравиметрическим данным рассчитаны значения кажущейся энергии активации протекающих процессов при нагреве, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Значения кажущейся энергии активации (E) в зависимости от температуры в атмосфере воздуха и в вакууме

Атмосфера воздуха		В вакууме	
Интервал температуры, °C	E, кДж/моль	Интервал температуры, °C	E, кДж/моль
450-460	74	500-540	46
510-520	27	570-580	42
590-600	12	610-620	22

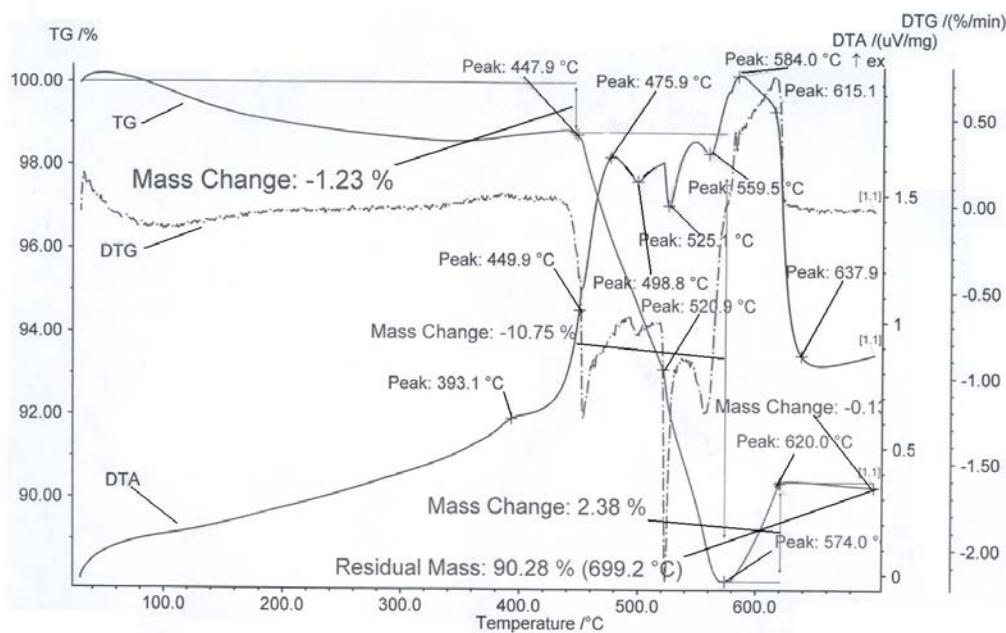


Рисунок 2. Термогравитограмма нагрева смеси арсената кальция с пиритом в атмосфере воздуха

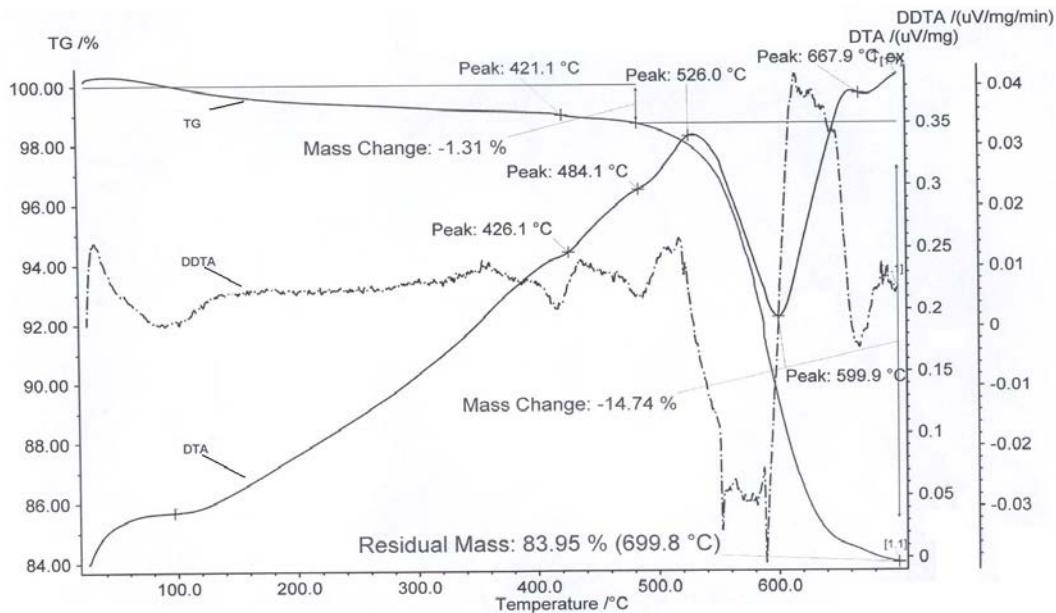


Рисунок 3. Термогравитограмма нагрева смеси арсената кальция с пиритом в вакууме

Полученные данные показывают, что с изменением температуры характер лимитирующих стадий процесса меняется. Повышение температуры сопровождается уменьшением значения энергии активации и переходом процесса из кинетического режима в диффузионную область, что свидетельствует о возрастании роли диффузионных ограничений в кинетике изучаемых процессов независимо от характера газовой атмосферы.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено:

1. Дегидратация арсената кальция протекает при температурах 460 - 480 °C. Процесс проходит в диффузионной области с кажущейся энергией активации 4,6 - 42,0 кДж/моль.
2. Сульфидирование арсената кальция пиритом начинается при температурах 450 °C и протекает в диффузионной области с кажущейся энергией активации 74 - 46 кДж/моль. При этом с повышением температуры процесс больше лимитируется диффузионными факторами.

● ХИМИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Установленный механизм сульфидирования арсената кальция пиритом позволяет рекомендовать к технологическим разработкам следующие исходные условия проведения процесса обжига:

- температура 700 – 800 °C;
- расход сульфидизатора 7 – 10 масс. %.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Турбина З.И., Козьмин Ю.А., Копылов Н.И. Получение нетоксичных мышьяксодержащих соединений сплавлением арсената кальция со шлаком // Цветные металлы, 1976, N2, С. 33-34.
- [2] Tang X., Thesis M.S. // MT College Min. Sci. Tech. Butte / MT, USA. – 1992, P.85.
- [3] Исабаев С.М., Пашинкин А.С. и др. Физико-химические основы сульфидирования мышьяксодержащих соединений. – Алма-Ата, 1986, 1984 с.
- [4] Luganov V.A., Sajin E.N. Detoxification of Arsenic Bearing Wastes. // Green Prossing Conference. – Cairns, Qld, Australia, 2002, P. 375-378.
- [5] Махметов М.Ж., Горохова Л.Г., Чупраков В.И. Термическая устойчивость арсенатов кальция // Журнал прикладной химии. – 1979, Е.52, N9, С. 2103-2105.

REFERENCES

- [1] Turbina Z.I., Koz'min Ju.A., Kopylov N.I. Poluchenie netoksicnyh mysh'jaksoderzhashhih soedinenij splavleniem arsenata kal'cija so shlakom // Cvetnye metally, 1976, N2, S. 33-34.
- [2] Tang X., Thesis M.S. // MT College Min. Sci. Tech. Butte / MT, USA. – 1992, P.85.
- [3] Isabaev S.M., Pashinkin A.S. i dr. Fiziko-himicheskie osnovy sul'fidirovaniya mysh'jaksoderzhashhih soedinenij. – Alma-Ata, 1986, 1984 s.
- [4] Luganov V.A., Sajin E.N. Detoxification of Arsenic Bearing Wastes. // Green Prossing Conference. – Cairns, Qld, Australia, 2002, P. 375-378.
- [5] Mahmetov M.Zh., Gorohova L.G., Chuprakov V.I. Termicheskaja ustojchivost' arsenatov kal'cija // Zhurnal prikladnoj himii. – 1979, E.52, N9, S. 2103-2105.

¹С.Б. Абиков, ²Е.О. Килибаев, ²Б.У. Байхожаева, ²Е.Т. Абсентов, ³О.В. Чернышова

¹Satbayev University, Алматы, Қазақстан

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

³Мәскеу технологиялық университеті, Ресей

e-mail: suiyeu_81@mail.ru

КАЛЬЦИЙ АРСЕНАТЫ МЕН ПИРИТ ҚОСПАСЫН ТЕРМОГРАВИМЕТРИЯЛЫҚ ТАЛДАУ

Аннадпа. Фылыми әдебиет көздерінде фазалық тепе-тендік, пиролиз кезінде пайда болатын арсенат қосылыстарының мүмкін формалары мен құрамы, процестердің кинетикалық сипаттамалары туралы әлі де жүйеленген мәліметтер аз. Мұндай тәсілдер практикада жеткілікті түрде дамығанына қарамастан, бастапқы шикізаттағы мышьяк мөлшерінің артуы қазірдің өзінде түзетулер енгізді және оксидтер мен арсенат-арсенит қосылыстарының фазалық тепе-тендігі теориясы тұрғысынан да, жаңа деректердің қолдану тұрғысынан да қосымша зерттеулер жүргізуді талап етеді. практика үшін онтайлы шешімдерді әзірлеу. Жұмыста синтездендірілген кальций арсенаты мен оның пиритпен қосылысының ая, азот және вакуум атмосфераларында өткізілген термогравиметриялық зерттеулердің нәтижелері берілген. Кальций арсенатының ыдырау механизмі және оның пиритпен сульфидтіндіру механизмдері толығымен ашылып, талқыланған. Қыздыру кезінде жүретін процестердің активациялық энергиялары есептелінген.

Негізгі сөздер: кальций арсенаты, термогравиметриялық қисықтар, дегидратация, кинетикалық сипаттамалар, белсендіру энергиясы, сульфидтеу механизмі.

¹S.B. Abikov, ²Ye.O. Kilibaev, ²B.U. Baykhozhaeva, ²E.T. Abseitov, ³O.V. Chernyshova

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

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

³Moscow technological university, Russia

e-mail: suiyeu_81@mail.ru

THERMOGRAVIMETRIC STUDIES OF CALCIUM ARSENATE WITH PYRITE MIXTURE

Abstract. In the sources of scientific literature, there is still little systematic data on the phase equilibria, possible forms and compositions of arsenate compounds formed during pyrolysis, and the kinetic characteristics of the processes occurring. Despite the fact that such approaches have been sufficiently developed in practice, the increase in the arsenic content in primary raw materials has already made its own adjustments and requires additional research both in terms of the theory of phase equilibria of oxides and arsenate-arsenite compounds, and in terms of using the new data obtained to develop optimal solutions for practice. The results of thermogravimetric investigations of the synthesized calcium arsenate and its mixture with pyrite in the atmosphere of air, nitrogen and vacuum. The mechanisms of dehydration Arce-coordinate of calcium and sulfiding pyrite during heating. Calculated values of apparent activation energies of the processes.

Keywords: calcium arsenate, thermogravimetric curves, dehydration, kinetic characteristics, activation energy, sulfiding mechanism.

**¹R.A. Alybaeva, ¹N.Sh. Akhambayeva, ²Z.A. Inelova, ²S.D. Atabayeva,
¹N.M. Authanova, ¹M.N. Kalmakhan**

¹ UNESCO Chair on Sustainable Development, Faculty of Geography, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

² Faculty of Biology, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
e-mail: akhambayevanigora@gmail.com

FEATURES OF THE ACCUMULATION OF HEAVY METALS BY DIFFERENT GENOTYPES OF SPRING WHEAT UNDER CONDITIONS OF SOIL CONTAMINATION WITH COPPER AND LEAD

Abstract. At present, the human impact on the biosphere is global in nature, in connection with which the issues of environmental pollution by many toxic substances, including heavy metals, have become very urgent. The long period of self-cleaning of contaminated soils and the high cost of their technogenic cleaning make mankind look for new ways to solve this problem. The identification of plant objects characterized by a minimal accumulation of heavy metals is the most promising direction in this area. The aim of our study is to determine the tolerance of wheat genotypes to severe metals, priority in the East Kazakhstan region, as well as identification of donors for breeding for metal resistance and promising forms of wheat. The object of research in this work is the genotypes of spring wheat from the collection of the East Kazakhstan Research Institute of Agriculture: GVK (East Kazakhstan genotype) -11/14, GVK-19056, GVK-19055, GVK-19012, GVK-19009.

Key words: heavy metals, spring wheat, soil, harvest.

Risks associated with safety of food and the environment under the conditions of all the growing pollution by heavy metals, causing the serious public concern in many countries. Contamination of agricultural soils with heavy metals is becoming serious due to rapid industrialization and urbanization [1]. Thus, the metallurgical industry annually discarded into the environment of about 155 thousand tons of copper, 89 tons of lead, 122 tons of zinc, Combusting coal and oil - 3.6 tonnes of lead, 2.1 tonnes copper, 7.0 thousand tons of zinc. The amount of lead coming from the exhaust gases of vehicles is 250 thousand tons per year [2]. In rural areas of heavy metals through a system of soil-culture can play a dominant role in the effects of heavy metals on the health of a person [3]. The imbalance of chemicals in foods and diets is the root cause and the beginning of the emergence and development of many human and animal diseases [4]. High concentrations of heavy metals in the environment cause health problems adversely affecting the nervous, hematopoietic, cardiovascular, reproductive and renal systems. Consequences of heavy metal contamination include decreased intelligence, attention deficit and behavioral abnormalities, and a contribution to cardiovascular disease in adults [5]. Some metals, such as for example, both Cu and Zn harmless in small amounts, but others - mainly Pb, As, Hg, and Cd, even in extremely low concentrations, are toxic and are potent initiators or promoters of many diseases, including an increased risk of cancer [6].

However, it is not easy to remove heavy metals from soils because of their irreversible immobilization in various soil components [7]. The most effective way to reduce contamination of agricultural products is to use metal-resistant varieties of agricultural plants that do not accumulate metals even when they are abundant in the soil. Knowledge of the biological characteristics of agricultural crops helps to solve the problem of rational use of soils with different levels of contamination with heavy metals. It is necessary to take into account the specific and varietal characteristics, commodity the part of the plant. Taking into account all these components, on soils

with a low level of pollution, it is possible to obtain a fairly clean crop of grain crops without much risk [2]. Wheat grain production is an important area of ensuring the country's food security. In this regard, agricultural production should produce ecologically clean, high quality grain, in which the content of heavy metals should not exceed the maximum permissible standards [8]. Therefore, the purpose of our study was to study various genotypes of spring durum wheat for their resistance to the accumulation of copper and lead in grain, which is a commercial part of the product.

Growing plants in conditions of natural pollution. The plants were grown in primary seed nurseries of the research and development site of VKNIISH, in conditions of natural pollution, in the suburban area of Ust-Kamenogorsk, East Kazakhstan region, north-east direction, 3 km from the city border. The area of the experimental plot is 5 m² in triplicate. Sowing is mechanized, plotting, the seeding rate is 5-6 million germinating grains per hectare. Row spacing 15 cm, inter-plot spaces 50 cm.

The soil cover of the experimental site is represented by ordinary heavy loamy chernozem, widespread in the foothill-steppe zone. The soil of the experimental plot is neutral (pH 7.0). The humus content in the arable horizon averages 2.6%. The soil is moderately supplied with easily assimilable nitrogen (22.6-18.4 mg / kg soil), highly supplied with mobile potassium (390-400 mg / kg soil) and low supplied with mobile phosphorus (16.3-18.5 mg / kg soil).

The predecessor - black fallow after fall plowing - 23-25 cm. When laying the experiments, soil preparation, sowing and plant care were carried out according to the accepted technology of barley cultivation in the foothill steppe zone of East Kazakhstan. Early spring harrowing, cultivation, pre-sowing cultivation. Plant care (rolling, weeding by hand).

Determination of the content of heavy metals in the soil of the root zone and in the grain. The concentration of heavy metals (copper and lead) was determined using an atomic absorption spectrophotometer. The method of atomic absorption spectrophotometry (AAS) is based on the property of atoms of chemical elements formed when the solutions of the substances used are sprayed in a "cold" flame (acetylene-air, propane-air, etc.) to absorb light of a certain wavelength. The radiation intensity of low-pressure gas-discharge lamps after the passage of light through a combustible gas flame and its absorption by the atoms of the investigated element is recorded photoelectrically. Samples of grain and soil in the root zone taken in the field of natural soil contamination with heavy metals were ashed in a muffle furnace. The ash material was treated with nitric and hydrochloric acids and water was added. The atomic absorption of the experimental and control samples was measured using an atomic absorption spectrophotometer [9].

Determination of the coefficient of biological accumulation of metals. One characteristic of reflecting accu- level of heavy metals cultures are biologically rate of accumulation. We have calculated bioaccumulation (coefficient of biological accumulation) as the ratio of the average content of heavy metals in plants to their average content in soils,

$$K_s = \frac{C_t}{C_{Wed}}$$

where K_s is the coefficient of biological accumulation; C_t — metal content in the plant, mg / kg; Ssr. - metal content in the soil cover, mg / kg [10].

Determination of vegetative indicators and productivity in conditions of natural environmental pollution

Phenological observations, field and laboratory assessments, and counts were carried out according to generally accepted methods [11].

Observations were carried out for the following developmental phases - seedlings, tillering, renewal of vegetation, tube emergence, heading, flowering, ripeness.

Plants determine the productivity kusti stost. Dug Raste Niya on each option and count the actual number of stems per plant (total, including product GOVERNMENTAL). The arithmetic mean, obtained from dividing the total number and number of productive stems by the number of

plants, characterizes the total or productive tillering, respectively, depending on the variety.

Plant survival was determined. Plants were counted in the full germination phase and before harvesting. The number of preserved plants (%) is calculated by the formula:

$$B = \frac{Cx 100}{B}$$

where: B - the number of plants preserved for harvesting, %; B - the number of plants in the full germination phase, pcs. per m^2 ; C - the number of plants to be harvested, pcs. by $1 m^2$.

The yield was determined by a direct gravimetric method. The grain moisture was determined by the gravimetric method. Since each plot taken about to grain into aluminum cups with a tight lid, weighed, and dried at a temperature of $100^{\circ} - 105^{\circ} C$ until constant weight is about 4 - 6 hours, then the calculation are according to the formula:

$$X = B:H$$

where: X - grain moisture, %; B is the mass of evaporated water, g; H - raw sample, g.

The standard 14% moisture content is calculated using the formula:

$$B = \frac{Yx (100 - b)}{100 - c}$$

where: X - yield reduced to standard moisture content; Y is the yield obtained; b - moisture content of the crop (%); c - standard humidity for this object.

In the analysis of plant elements their structures grain crops were collected on 10 plants from each plot of repetitions experience.

Research results and their discussion. First of all, the content of the studied heavy metals in the soil of the root zone of various genotypes of spring barley was investigated, since East Kazakhstan is an industrial center with developed mining and non-ferrous metallurgy and soils can be contaminated with heavy metals. It is known from literary sources that a high concentration of lead in the soil causes its excessive accumulation in plants, which leads to inhibition of the respiration process and inhibits photosynthesis, can also lead to an increase in the intake of cadmium and a decrease in the content of such elements as zinc, calcium, phosphorus, sulfur. The total toxicological effect of pollution of the environment with heavy metals depends not only on the set and level of accumulation of specific elements, but also on the characteristics of their interaction [12]. The unfavorable effect of copper with its increased content in the soil and subsequently in the plant was manifested by a decrease in the accumulation of phytomass, water content of tissues, chlorophyll content, absorption of ions of some other metals and their translocation throughout the plant [13].

The results of our study first the content of lead in the soil root zone of different genotypes of spring barley indicated that in relation to the MAC lead to soil are exceeded in 1,6-1,7 times, except for the soil root zone habitat genotype HVA-19056 (Figure 1).

Comparison with MPCs does not always reflect the true pollution situation. Therefore, the ratio of the lead content in the soil of the root zone with the Regional Clark was also determined, in accordance with the opinion that the content of elements in the topsoil should be compared with the background [14]. Regional Clark was taken as the background metal content in the soil.



Figure 1. The content of lead in the soil of the root zone of various genotypes of spring durum wheat in relation to the MPC

Studies have shown that, in relation to Regional Clark, the excess of the metal content is 2, 6 - 2.7 times, except for the soil of the root zone of the genotype GVК-19056, where the excess is 1.6 times. This excess is higher than with respect to the MPC (Figure 2).



Figure 2. The content of lead in the soil root zone different genotypes YAROVOY minutes durum wheat with respect to the Regional Clark

The copper content in the soil of the root zone of various genotypes of spring barley was also investigated (Figure 3.4). The findings of copper have shown that with respect to the MPC excess copper is observed in the soil in 1.5 - 2.5 times (Figure 3).



Figure 3. The content of copper in the soil of the root zone of various genotypes of spring durum wheat in relation to the MPC

The ratio of the copper content in the soil of the root zone to the Regional Clark was also determined. Studies have shown that, in relation to Regional Clark, an excess of copper content in the soil of the root habitat of spring durum wheat genotypes is not observed (Figure 4).



Figure 4. Copper content in the soil of the root zone of different genotypes of spring barley in relation to Regional Clark

Thus, the study of the content of copper and lead in the soil of the habitat zone of the roots of spring barley showed an increased content of the studied elements, both in comparison with their maximum permissible concentration for soil, and lead in comparison with Regional Clark. In all studied genotypes, they experience stress from the increased content of heavy metals in the soil. At the same time, the content of lead makes a greater contribution to stress, since compared to its natural content in the region, the excess is 2,6 - 2.7 times a.

Determination of the accumulation of the studied elements in seeds is the most important studied indicator, since wheat grain is used in the food industry.

Our studies have shown that lead ions accumulate in seeds of all genotypes of spring barley and their amount exceeds the MPC for grain by about 4-12 times. According to the amount of lead ions accumulated in the seeds of plants of different genotypes of spring barley, they can be arranged in the following order as they decrease: ГВК-19012 > ГВК-19055 > ГВК-19009 > ГВК 11/14 > ГВК 19056.

Less likely, compared with the other genotypes, genotype lead ions accumulates HVA-19056, most - ГВК19012 remaining spring barley genotypes show intermediate values of the content of the element (Figure 5).



Figure 5. Lead content in seeds of various genotypes of spring durum wheat in relation to MPC

Determination of biological accumulation showed that accumulates the least lead genotype HVA-19056, most - GWC - 19012 (Figure 6)



Figure 6. Coefficient of biological lead accumulation in seeds of various genotypes of spring durum wheat

The study of the content of copper ions in seeds of durum spring wheat showed that this metal accumulates little and its amount does not exceed the MPC for grain for all studied genotypes. At the same time, there are differences between the genotypes of spring durum wheat in terms of the content of copper in seeds (Figure 7).



Figure 7. The content of copper in the seeds of different genotypes of spring barley in relation to the MPC.

According to the number of copper ions accumulated in the seeds of plants of different genotypes of spring barley, they can be arranged in the following order as they decrease: genotype GVK-19009 > GVK-11/14 > GVK-19055 > GVK-19012 > GVK-19056. The smallest quantity of copper in seeds contain and T genotype HVA-19056, the largest - genotype HVA-19009 .



Figure 8. Coefficient of biological accumulation of copper in seeds of various genotypes of spring durum wheat

Determination of biological accumulation (Figure 8) showed that less accumulates all copper genotype HVA-190 of 12, b olshe only accumulate copper seed genotype YAROVOY minutes durum wheat HVA-11/14.

The accumulation of chemical elements by plants does not always correspond to the degree of their accumulation in soils, since the input of elements depends on the biological characteristics of the plant organism and the geochemical characteristics of the habitat [15, pp.3-24]. The direct dependence of the content of heavy metals in plants on their amount in the soil is often violated due to the ability of plants to selectively absorb the element s [16, pp.37-97]. P asthenia differ with respect to the ability to accumulate metal. Thus, it was found that the content of heavy metals in wheat flour is determined by varietal characteristics [17, pp.10-12]. The penetration of heavy metals from the soil in the plant depends on the ability to overcome the I internal barriers plant body, its physiological and biochemical mechanisms of self-defense [18, pp.144-159]. Availability of heavy metals to the plant is determined by the following biological characteristics of plants: variation of accumulation of different metals from - for the species characteristics of plants; species and varietal differences of agricultural plants; age differences in cultures in accumulation; species differences in organs that accumulate different amounts of heavy metals [19].

Communication information available in the literature ide ments that revealed a significant positive correlation between the concentration of heavy metals in the grain and genotype varieties showing a possibility of removing the low-potential accumulation of heavy metals. For example, different varieties of spring wheat showed significant differences in storage properties in relation to heavy metals; varieties with high and low content of heavy metals were identified. The latter are less sensitive to industrial pollution and agricultural metal-containing fertilizers. The authors come to the opinion that this is especially characteristic of the most toxic metals - cadmium and lead [20].

Stable agricultural production requires varieties that make the most of the natural resources of the environment, capable of producing stable yields in a changing environment. To recommend metal-resistant varieties and genotypes for production, it is necessary to investigate their yield and resistance to climatic environmental conditions. Determining the survival rate in the spring-summer growing season, the yield of barley and its elements will reveal the most promising forms for cultivation in conditions of pollution.

In order to identify the survival of plants were carried out by counting the number of plants germinating, and the remaining amount before harvesting plants YAROVIT th firmly th of wheat per unit area. By the difference between these indicators, one can judge the survival rate of plants during the spring-summer growing season. The research shows that the number of plants during the growing season decreases in all genotypes of spring wheat (Figure 9).

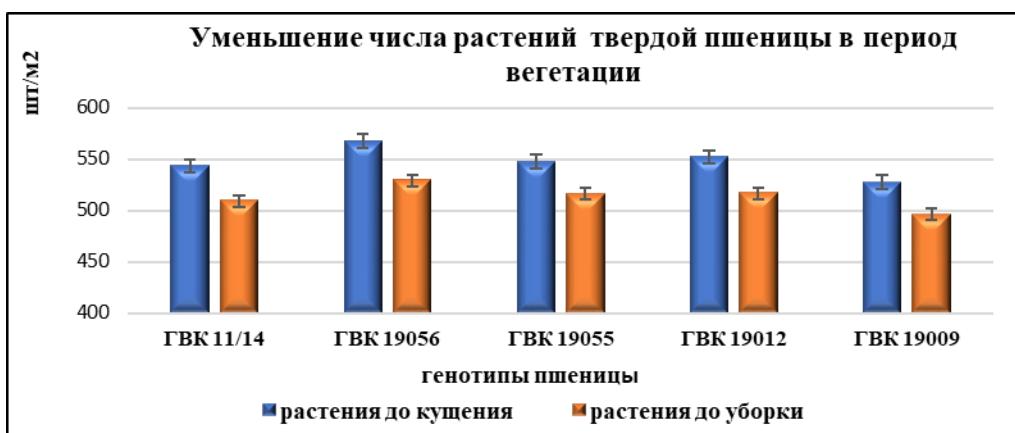


Figure 9. W The number of plant genotypes spring durum wheat germination phase until slaughter p ki Analysis of the data allows us to conclude that the largest number of dead plants during the

spring-summer growing season is observed in the GVK-19056 genotype (6.8%), which indicates their low adaptive ability to external environmental factors. An average reduction in the number of plants was revealed in the GVK-12/14 and GVK-19012 genotypes (6.3% and 6.5%, respectively). The smallest losses in the number of surviving plants during the spring-summer growing season belong to the genotypes GVK-10955 and GVK-19009, the seedlings of which decreased only by 5.7 and 5.9%, respectively (Figure 10).



Figure 10. Survival of plants of various genotypes of spring durum wheat during the growing season

The analysis of the structure of the yield of spring durum wheat from the collection of VK NIISH and the relationship of its elements is carried out. By the structure of the crop, it is possible to identify the main factors and judge the nature of their influence on the formation of the crop. Productivity is the most important and complex quantitative trait, the sum total of the result of plant development during the growing season. In the course of our study, important economically valuable traits associated with the yield of wheat genotypes were analyzed. It is known that pollution of the environment with heavy metals and subsequent pollution of plants cause changes in physiological parameters, development, productivity and quality of grain. For example, contamination of wheat plants with metallurgical dust leads to an increase in the rate of oxygen uptake and carbon dioxide emission [21]. P asthenia I grown e on soils contaminated with heavy metals, characterized Hard of hand cycle and development setbacks second or full th loss m phenophases [22]. Crops grown on soils contaminated with emissions of metallurgical production, characterized by low their quality m grain nak about Square HAND straw in iron, zinc, and lead. When comparing the productivity of wheat grown on contaminated soils within the radius of influence of a metallurgical enterprise with the harvest in the background plots, the maximum decrease in wheat productivity was revealed . The influence of ferrous metallurgy enterprises is expressed in an increase in the degree of contamination of grain crops, as well as in a decrease in the content of gluten and underdevelopment and grains [23].

And hav e information about soil contamination by heavy metals impact on productivity and its components in grains. So, when studying the grain productivity of wheat and its elements under conditions of soil contamination with heavy metals, it was revealed that lead contamination leads to a decrease in the grain weight, the number of grains and the weight of 1000 grains significantly decreased. The combined effect of cadmium and lead had the most toxic effect on plants, it caused the most significant decrease in productivity compared to the control - the weight of grain and straw were lost. In experiments with spring wheat and spring barley under conditions of soil contamination with cadmium, lead and nickel, separately and in certain combinations, a significant effect on plant productivity, elements of the crop structure, correlations between grain productivity and its individual elements, the intake and distribution of these elements in plants was shown. At the same time, the nature of changes in the above signs under the influence of heavy metals was determined by the level of soil contamination with metals, the nature of the interaction between

them, and the varietal characteristics of plants. Soil contamination with a high dose of lead led to the loss of a high correlation between productive tillering and grain productivity in cereals [24].

Conclusions:

1. When soil is contaminated with lead and copper ions in the grain of different genotypes of spring wheat and lead ones accumulate in the seeds of all genotypes of spring barley and their amount exceeds the MPC, while copper ions accumulate little and their amount does not exceed the MPC for grain for all studied genotypes.

2. Genotype HVA-190 12 YAROVOY minutes durum wheat can be recommended for use in breeding and genetic research as resistance donor to copper, since this genotype has the lowest value of the coefficient b iologicheskogo accumulation.

3. The main role in the formation of productivity in conditions of polymetallic soil pollution is played by the survival of plants during the spring-summer growing season.

REFERENCES

- [1] Wei B., Yang L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchem. J.* - 2010 . -No 94 . - pp . 99-107.
- [2] Raskatov, A.V. Agroecological aspects of heavy metal translocation in soil and plants: the example of sod-podzolic soils of the Ivanovo region. - Diss . on soils . uch.step . Cand. agricultural sciences.-2000. - 170
- [3] Liu WX, Shen LF, Liu JW, Wang YW, Li SR Uptake of toxic heavy metals by rice (*Oryza sativa* L.) cultivated in the agricultural soils near Zhengzhou City, People's Republic of China. *Bull . Environ . Contam . Toxicol* . - 2007 . -№ 79 . - pp . 209-213.
- [4] T.M. Mazhugo , O. V. Melnikova Yield and content of heavy metals in the grain of spring soft wheat varieties in the conditions of the Bryansk region // *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy* . - No. 8 . - 2015 . - With . 125-128 .
- [5] Jarup L. Hazards of heavy metal contamination // *Br. Med. Bull.* - 2003 . No. 68 . - pp . 167-182.
- [6] Dockery D., Pope A. Epidemiology of Acute Health Effects: Summary of Time-Series Studies. In: Wilson R., Spengler JD, editors. *Particles in Our Air. Concentration and Health Effects*. Harvard University Press; Cambridge, MA, USA: 1996. - pp. 123-147.
- [7] Gülser F., Erdogan E. The effects of heavy metal pollution on enzyme activities. *Environ . Monit . Assess* . 2008; 145: 127-133.
- [8] S. V. Pugaev Content of heavy metals in grain of winter and spring wheat growing in different ecological conditions *Vestnik Mordovia University, Series "Biological Sciences"*, 2013, No. 3-4. - S. 89-93.
- [9] M-MVI-80-2008 Methods for performing measurements of the mass fraction of elements in samples of soils, grounds and bottom sediments by atomic emission and atomic absorption spectrometry.
- [10] A.A. Kroik , V.A. Gotvyanskaya , M.G. Didenkul Regularities of accumulation and distribution of heavy metals in the system "soil - plants" *Bulletin of Dnipropetrovsk University . Geology , geography* , - 2012. - T. 20, issue . 32 . - S. 1-4.
- [11] Dospekhov B.A. *Field experiment technique*. - M: Agropromizdat , 2012 . - 349 p.
- [12] Ovcharenko M.M. and others. Factors of soil fertility and pollution of products with heavy metals // *- Chemistry in agriculture*. - 1998. - No. 3. - S. 31-34.
- [13] Ivanova E.M. The toxic effect of copper and the mechanisms of its detoxification by rape plants: a thesis for a thesis . dis ... cand. biol. sciences. - M., 2011 . - 26 p.
- [14] Gundareva A. N. Biogenic migration of copper, zinc and manganese in terrestrial ecosystems of the Astrakhan region: author. dis.... Cand. biol. sciences. - Astrakhan: ASTU, 2006 . - 24 p.
- [15] Igonov I.I., Kargin I.F. Dynamics of the content of heavy metals in the process of long-term use of arable land // *Agrochemical Bulletin*. - 2012. - No. 4. - P. 31 - 33.

- [16] Kuznetsova E.A., Alekhina Yu.I., Shcherbakova A.A. The content of heavy metals in the grain of winter wheat of different varieties // Grain economy. - 2008. - No. 3. - S. 10-12
- [17] Budin, A.S. Chemical elements - soil toxicants // Pochvovedenie. - 1975. - No. 11. - S. 125 - 127.
- [18] Wu F. , GP Zhang . Variation in kernel Genotypic heavy metal concentrations in barley and as soil affected by factors // J . Plant Nutr . - 2002. - Vol . 25, N 6. - P . 1163-1173.
- [19] Medvedev P.V., Fedotov V.A. Investigation of the influence of natural-geographical and varietal factors on the accumulation of heavy metals in spring wheat // Vestnik OSU. - 2009. - No. 6 (100). - S.222-226.
- [20] Availability of the DD Hemphill the trace elements to plants with Respect to soil-plant Interaction // Ann.NY . Acad. Sci. -1972. - Vol. 99, № 1. - P . 46-60.
- [21] Genetic and molecular biology of plant nutrition // Proc. 5st Int.Symp . Davis, Kalifornia , USA. - 1994 -- 139 p.
- [22] Hemphill DD Availability of trace elements to plants with respect to soil-plant // Interaction Ann.NY . Acad. Sci. -1972. - Vol. 99, No. 1. - P. 46-60.
- [23] Clemens S. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis // Planta. - 2001. - No. 212. - P. 475-486.
- [24] Hall JL Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance // J. Exp. Bot. - 2002. - No. 53. - P. 1-11.

¹ Р.А. Алыбаева, ¹ Н.Ш. Ахамбаева, ² З.А. Инелова, ² С.Д. Атабаева,
¹ Н.М. Аутжанова, ¹ М.Н. Калмахан

¹ Факультет географии, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

² Факультет биологии, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан
e-mail: akhambayevanigora@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ РАЗЛИЧНЫМИ ГЕНОТИПАМИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ МЕДЬЮ И СВИНЦОМ

Аннотация. В настоящее время воздействие человека на биосферу носит глобальный характер, в связи, с чем весьма актуальными стали вопросы загрязнения окружающей среды многими токсичными веществами, в том числе тяжелыми металлами. Большой период самоочищения загрязнённых почв и дорогоизна их техногенной очистки заставляют человечество искать новые пути решения данной проблемы. Выявление растительных объектов, характеризующихся минимальным накоплением тяжелых металлов, является наиболее перспективным направлением в данной области. Целью нашего исследования является определение толерантности генотипов пшеницы к тяжелым металлам, приоритетным в Восточно-Казахстанском регионе, а также выявление доноров для селекции на металлоустойчивость и перспективных форм пшеницы. Объектом исследования в данной работе являются генотипы яровой пшеницы из коллекции Восточно-Казахстанского научно-исследовательского института сельского хозяйства: ГВК (генотип восточно-казахстанский)-11/14, ГВК-19056, ГВК-19055, ГВК-19012, ГВК-19009.

Ключевые слова: тяжелые металлы, яровая пшеница, почва, урожай.

• ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ӘОЖ 69.002.5

<https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.v143.i1.16>

М. Сағынтай*, Ж. Байгунчеков
Satbayev University, Алматы, Қазақстан
*e-mail: skmuchagali-2009@mail.ru

БЕТООНДЫ ҚАБАТТАП ҚҰЯТЫН 3D ПРИНТЕРЛЕРДІҢ КОНСТРУКЦИЯЛАРЫН ТАЛДАУ

Аннотация. Бұл жұмыста бетонды қабаттап құю технологиясы мен оны жүзеге асыратын құрылыш 3D принтерлері зерттелінген. Баспа бастиектің берілген траекториямен қозғалуын қамтамасыз ететін құрылыштағы 3D принтердің жұмыс органының еркіндік дәрежесі қабаттап құйылатын бетонның жер бетіне қатысты қарапайым параллельдіктен күрделі пішімділікке дейін әр түрлі болып құйылуына тікелей әсері қарастырылған. Құрылыштағы 3D принтерлердің конструкцияларына жан-жақты талдау жасалынып, әр конструкцияның ерекшеліктері қарастырылып, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері сараланған. Қарастырылған құрылыштағы 3D принтерлердің конструкциялары барлығы дерлік нақты жүзеге асқан жобалардан алынған. Сонымен қатар, құрылыштағы 3D принтерлердің конструкциялары қамтамасыз ете алатын жұмыс аймақтарының өлшемдері мен ерекшеліктері талқыланып, олардың салынатын ғимараттың пішіні, пішінінің күрделілігі мен өлшемдеріне тікелей әсері қарастырылған.

Негізгі сөздер: құрылыштағы 3D принтер, бетонды қабаттап құю, 3d принтердің шүмегі, баспа бастиек.

Кіріспе. Қазіргі уақыттағы көптеген бетонды қабаттап құятын 3D принтерлер материалды құятын баспа бастиектен, құятын баспа бастиекті берілген траекториямен алып жүретін позициялаушы жүйеден (робот-манипулятордан) және құйылатын материалды дайындаған, оны құятын баспа бастиекке жеткізетін жүйеден тұрады. Әдетте, құйылатын материалды жеткізу жүйесі, құйылатын материалды дайындастын құрылғыны санамағанда, робот-манипуляторға орнатылады. Робот-манипуляторлардың конструкциялық ерекшеліктері мен жұмыс аймақтары бетоннан қабатталып құйылатын ғимараттың өлшемдері мен сипатына тікелей әсер етеді. Робот-манипулятордың кинематикалық және динамикалық қасиеттері салынатын ғимараттың тұрғызылу жылдамдығы, қабаттап құйылатын қабырғалардың дәлдігі (түзулігі) мен сапасын анықтайдындықтан, аддитивті технологиямен салынатын ғимараттардың экономикалық тиімділігі оған тікелей байланысты.

Негізгі бөлім. Құрылыштағы аддитивті технологияны іс жүзінде жүзеге асыру үшін үш есті XYZ координаталық жүйеде қозғалысты қамтамасыз ете алатын конструкциясы бар робот, яғни 3d принтер, қажет. Құйылатын қабат жер бетіне қатысты параллель жазықтықта (1,а-сурет) [23] немесе жер бетіне қатысты белгілі бір бұрышпен орналасқан жақықтықта (1,ә-сурет) [24], не болмаса күрделі пішінді бетте жатуы мүмкін (1,б-сурет) [25].



а) Құйылатын қабат жер бетіне қатысты параллель жазықтықта жатуы



ә) Құйылатын қабат жер бетіне қатысты белгілі бір бұрышпен орналасқан жақықтықта жатуы



б) Құйылатын қабат жер бетіне қатысты күрделі пішінді бетте жатуы

1-сурет. Құйылатын қабат жер бетіне қатысты әртүрлі жазықтықта жатуы.

Сәйкесінше 3d принтердің жұмыс органды – 3d принтердің шүмегі құйылу керек қабатты жүзеге асыра алатында траекториялармен қозғала алуы керек. Яғни, 3d принтердің конструкциясы 3d принтердің шүмегінің қозғалу зандылықтарын қамтамасыз ете алатында болуы керек. Қазіргі уақыттағы қолданыстағы құрылыш 3d принтерлерінің конструкцияларына тоқталар болсақ, оларды конструкциялары бойынша бірнеше түрге жіктеуге болады:

- порталды робот;
- өндірістік робот-манипуляторлар;
- кран-манипулятор типтес;
- аралас күрделі манипуляторлар (MIT университетінің құрылыш 3d принтері)
- қолданыстағы құрылыш машинадарын 3d принтерге бейімдеу (CONPrint3D).

Құрылстағы аддитивті технологияның негізін салушы профессор Хошневис пен оның зерттеу тобынан [1, 2, 3] бастап қазіргі уақытқа дейінгі көптеген жобаларда порталды роботты пайдаланады [4, 5, 6, 7]. Порталды роботтың кинематикасының сипаты үш координаталық өс бойынша тек ілгерлемелі қозғалыс болғандықтан, басқарылуы қарапайым және дәлдігі жоғары. Салыстырмалы түрде қарапайым ілгерлемелі қозғалыстар жұмыс аймағының мүмкіндігінше барынша оңтайлы пайдаланып, қабатталып құйылып жатқан обьектіге жақсы қолжетімділік береді. Дегенмен, порталды роботтың кинематикасының қағидасы бойынша порталды роботтың өлшемдері әрқашан қабатталып құйылатын обьектіден үлкен болуы керек. Демек, үлкен ғимарат салу үшін құрыллыс аймағында салынатын ғимараттан да үлкен порталды роботтың конструкциясын құрастыру керек. Көптеген порталды роботтар негізінен стационар болатындықтан, оларды құрыллыс аймағында құрастыру-шашу жұмыстары қосымша уақыт пен қаржы шығындарына алып келеді. Сонымен қатар, порталды роботты құрастыру үшін құрыллыс аймағына қойылатын айтарлықтай көп талаптар болады.

Осыған орай соңғы уақытта нарыққа шыққан жобалар порталды роботтардың жоғарыда айтылған кемшіліктерін жою үшін порталды роботтардың конструкциясын айтарлықтай өзгерткен. Атап айтқанда, америкалық компания ICON өзінің Vulcan атты 3D принтерін тасмалдау мен құрыллыс алаңында монтаждау жұмыстарына қажетті уақыт пен қаржыны үнемдеу мақсатында тұтастай түрде жүк машинасына артып, құрыллыс алаңына жеткенде түсіре салып жұмысқа салатында етіп жасаған (2,а-сурет) [8]. 3D принтердің ені 10 м және биіктігі 3,5 м, жұмыс аймағының ені 8,5 м және биіктігі 2,6 м, сонымен қатар портал әр жағынан 4-еуден 8 дөңгелекке орнатылғандықтан, теориялық ұзындығы салынатын үйдің ұзындығымен шектеледі. Дегенмен, компанияның мәліметі бойынша шамамен 186 м² дейінгі ауданға бір қабатты үй түрғыза алады [4].



а)



ә)



б)



в)

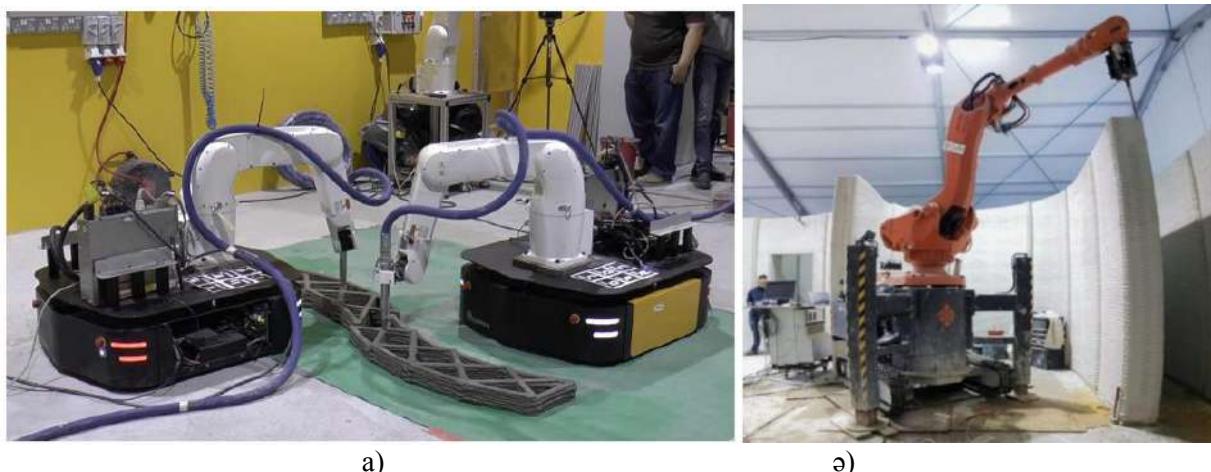
2-сурет. Конструкциясы порталды робот 3D принтерлер: а) ICON компаниясының Vulcan атты 3D принтері; ә) COBOD компаниясының BOD2 атты 3D принтері; б) Профессор Хошневис Contour Crafting компаниясының концептуалды 3D принтері; в) WinSun компаниясының концептуалды 3D принтері

Даниялық компания COBOD өзінің BOD2 атты 3D принтерін ұзындығы 2,5 метрден болатын әмбебап модульдерден (әр модуль кез-келген еске орнатыла береді) құралатындағы етіп жасаған. 3D принтердің үлкен кішілігіне қарамастан әр 3D принтер кем дегенде 1 бапталатын баспа бастиектен, X өсі бойынша қозғалатын 1 күймешенің негізі, Y өсі бойынша қозғалатын 2 күймешенің негізі, Z өсі бойынша қозғалатын 4 күймешенің негізінен тұрады (2,ә-сурет) [6]. Дегенмен, қазіргі уақытта 3D принтердің максималды ені 6 модульден (жалпы 15 м) және биіктігі 4 модульден (10 м), ал ұзындығы шектелмеген [9]. Бұл өлшемдер 3D принтердің өлшемдері екеніне және салынатын ғимараттың өлшемдері жоғарыда айтқанымыздай бұл өлшемдерден аз болатынына назарларыңызды аударамыз.

Сонымен қатар, бір-біrine өте ұқсас тағы екі әзірge концепт түріндегі жобалар жайында: америкалық компания Contour Crafting Corporation [3] және қытайлық компания WinSun [5] порталды роботтың конструкциясы мен кинематикасын айтарлықтай өзгерткен. X өсі бойынша қозғалыс Y өсіне топса арқылы байланысқан және бастапқыда жерге қатысты белгілі бір бұрышпен еңкейіп тұрған порталдың бойымен жүзеге асады. Y өсі бойынша қозғалыс құрылыш аймағына алдын ала орнатылған рельс бойымен жүру арқылы жүзеге асады және қозғалыс қашықтығы рельс ұзындығымен шектелген. Ал, Z өсі бойынша қозғалыс еңкейіп тұрған порталды гидрожетектер арқылы біртіндеп 90 градусқа дейін тұрғызу арқылы жүзеге асады (2б,в-сурет) [3,5]. Әзірge бұл концепттердің нақты жоба түрінде жүзеге асқаны жайлы анық ақпарат жоқ.

Кейбір іске асқан бетонды қабаттап құю жобаларында және көптеген зерттеу топтарында 3D принтер ретінде кәдімгі өндірістік роботтарды пайдаланады. Өндірістік роботтардың қолжетімділігі, салыстырмалы түрде арзандығы мен әмбебаптығы баспа бастиекті алып жүретін позициялауши манипулятор ретінде таңдағаны түсінікті де. Өндірістік роботтар салыстырмалы түрде ұзақ уақыттан бері жобаланып-жасалынып келе жатқанының және ете кең таралғанының арқасында барлық техникалық сипаттамалары, атап айтқанда дәлдігі мен динамикасы және басқаруши бағдарламалық қамтамасыз ету жүйелері әбден оңтайланырылып, ұшталған, бірақ, ол өндіріске арналғандықтан, әдетте стационар болып келеді. Демек, оның жұмыс аймағы шектелген, яғни оның максималды жету аймағы 3,5-4,5 м [10,11,12]. Жұмыс аймағының шектеулігі мен стационарлығы және шаң-тозаң мен кір-ылғалдығы салыстырмалы түрде аз зауыттарға арналғандықтан, оның нағыз құрылыш аландаударында қолдануын шектейді. Дегенмен, осындай стационар өндірістік роботтардың бірнешеуін бір обьекті тұрғызу үшін ұжымдастырылып, бетонды қабаттап құюда роботтардың ұжымдық жұмысын зерттеген жұмыстар бар (3,а-сурет) [13]. Кейбір жобаларда өндірістік роботтарды мобиЛЬДІ платформаға орнатып және жоғары-төмен қозғалттын механизмдермен қамтып, бетонды қабаттап құю жұмыстарында қолданып жүр (3,ә-сурет) [14]. Бұл өндірістік роботтың 3-4,5 метрмен шектелген жұмыс радиуысын мобиЛЬДІ платформа жете алатын аймаққа дейін кеңейтеді. Бірақ, мобиЛЬДІ платформамен бірге қозғалаттын өндірістік робот өзінің кеңістіктегі орны мен жұмыс органдарының (баспа бастиектің) позициясын нақты уақытта қадағалап отыруы үшін және берілген қозғалыс зандаулықтарын (қабаттап құйылатын бетон арқаның траекториясын) айна қатесіз қайталай алуы үшін басқару жүйесінің қосымша жетілдіруін қажет етеді.

Өндірістік роботтың жұмыс кеңістігін кеңейтудің басқа балама жолдарын Брауншвейг университетінің Сандық ғимараттар салу лабораториясы (түпнұсқада қысқартылуы DBFL) өлшемдері: ұзындығы 16 м және ені 7 м болатын 3-өстік порталды мрамор кесуге арналған фрезерлік білдекке өндірістік роботты орнату арқылы жүзеге асырған (4,а-сурет) [A15]. Ал, Массачусетс технологиялық институтының зерттеуші тобы «Сандық құрылыш платформасы» деп аталатын шынжыр табанды мобиЛЬДІ платформаға телескоптық жебесі бар манипуляторды орнатып, оның ұшына өндірістік роботты орнатқан құрылыш 3D принтерін жасап шығарған (4,ә-сурет) [26]. Бұл 3D принтер демонстрациялық көрсетілімінде монтаждық көбікшені қабаттап қую арқылы бетон қуятын қалып жасады.



3-сурет. Конструкциясы өндірістік робот 3D принтерлер: а) роботтардың ұжымдық жұмысы; е) СүВе компаниясының 3D принтері.



4-сурет. Өндірістік роботты басқа бір конструкцияға орнату: а) DBFL тұжырымдамасы бойынша жасалған порталды роботқа орнатылған өндірістік роботы бар 3D принтер; мобиЛЬДІ платформаға орнатылған телескоптық жебесі бар манипуляторға орнатылған өндірістік роботы бар 3D принтер.

Ресейлік-американдық компания Apis Cor полярлық координаттар жүйесіне негізделген телескоптық жебелі роботты пайдаланады. Телескоптық жебенің ұзындығы 8,5 м-ге дейін жетеді және ол өз өсінің бойымен онға да солға да 360^0 -қа айнала алады, сонымен қатар телескоптық жебе орнатылған өсі 3 гидрожетектері арқылы 1,5 м-ден 3,1 м-ге дейін көтеріле алады (5,а-сурет) [16,17]. Бұл роботтың жұмыс аймағы цилиндрлік типтес болғандықтан, робот қабаттап құйып жатқан ғимараттың ортасына орналасуы керек, осылай робот 130 m^2 ауданға дейінгі ғимаратты тұрғыза алады [A15]. Роботтың жоғары дәлдігі, басқарылуының қарапайымдығы, құрылым алаңында құрастырып-қайта шашып жатпай, жүк машинасынан түсіре салып жұмысқа сала алу және жұмыс аяқталған соң, бүтіндей жүк машинасына артып алып кете алу сияқты артықшылықтарының болуымен қатар, биіктінің 3,3 м-мен шектелуі, стационарлығы сияқты кемшіліктері де бар. Егер ғимараттың бір қабатының биіктігі 3,1 м-ден биігірек болса, онда робот оны тұрғыза алу үшін оның астына биіктететін платформа қою керек болады. Ал, егер көп қабатты ғимараттың бір қабатының биіктігі үш метрге жетпесе және қабат аралық жабын роботтың 2 тонналық салмағын көтере алса, онда бірқабатты тұрғызып болған соң, екінші қабатқа орнатып, сол қабатты тұрғызып, одан келесі қабатты тұрғызып кете береді.



5-сурет. Бетонды басып шығаруға арналған ауқымды манипуляторлар:
а) Apis Cor компаниясының 3D принтері; ә) HINDCON [A19].

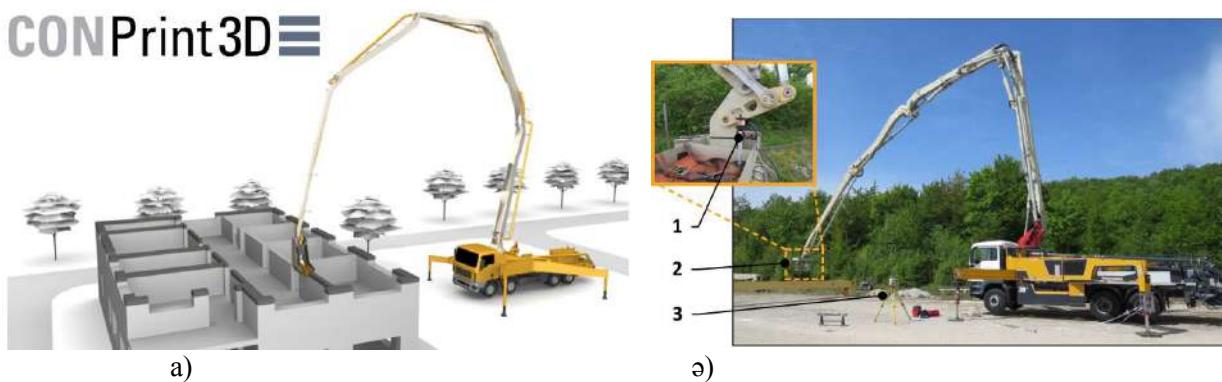
Еуропалық HINDCON ғылыми жобасы кабельді роботты баспа басы үшін манипулятор жүйесі ретінде пайдалануға бағытталған (5,ә-сурет) [A19]. Осы мақсатта басып шығару механизмін қолдау платформасы бірнеше параллель кинематикалық кабельдермен басқарылады. Кабельдің белгілі бір ұзындығының конфигурацияларын реттеу арқылы тасымалдаушы платформасының орналасуы мен бағытын өте оңай өзгертуге болады, осылайша баспа басы қол жетімді жұмыс кеңістігінде кез-келген позицияға ауыса алады. Неміс машина жасау және автоматика институты. Fraunhofer IPA роботтарды жасауға қатысады. Робот 17x12x4,5 м³ жұмыс кеңістігін пайдаланады және оның жүктемесі 250 кг-ға дейін жетеді [A19, A20]. Бұл тұжырымдаманың артықшылығы - жүйенің жоғары динамикасы және салыстырмалы түрде қаралайым дизайны. Осы себепті кабельдік роботтарды құрылыс саласында қолдану басқа ғылыми жобаларда да зерттелуде [A21]. Сонымен қатар, кабельді робот машинаның жақтауы басылатын объектіден едәуір үлкен болуын талап етеді. Соңықтан ғимараттың айналасында басып шығару үшін бос орын жеткілікті болуы керек. Сонымен қатар, кабельдік робот тұжырымдамасы кабельдер мен басып шығару объектісінің басып шығарылған бөліктері арасында соқтығысуды болдырмау үшін кабельдердің басталу және ауытқу нүктелеріне мұқият назар аударуы керек. Бұл әсіресе ғимарат баспа өсімімен бірге өскен кезде қындық тудыруы мүмкін.

Дрезден техникалық университетінің зерттеушілері қолданыстағы құрылыс технологиясы саласында белгілі бір манипуляторды аддитивті технологияға бейімдегенді жөн көріп, CONPrint3D тұжырымдамасын ұсынды (6,а-сурет) [22]. Олардың ойынша құрылыс машиналары осы қатал жұмыс жағдайына арнайы жасалған және көптеген жылдар бойы өздерін дәлелдеген және де көптеген құрылыс машиналары бетонды басып шығаруға қажетті дәлдікке есептелмегенімен, олардың арнайы түрлендірүлдерден кейін дәлдік талаптарын қанағаттандыру мүмкіндігі бар. Басылатын объектінің көлеміне байланысты, мысалы, бетонды басып шығару үшін келесі машиналарды пайдалануға болады:

- Мұнаралы крандар немесе жылжымалы крандар;
- Мобильді экскаваторлар;
- Жүктеушілер;
- Авто бетон сорғылары.

CONPrint3D процесі баспаға арналған масштабты манипулятор ретінде жүк көлігіне орнатылған бетон сорғысын қолдануға бағытталған және көп жылдық зерттеу мен жетілдіру арқасында Дрезден техникалық университетінің зерттеушілері бетонсорғының дәлдігін 95%-ға дейін жеткізген (6,ә-сурет) [22].

CONPrint3D



6-сурет. Дрезден техникалық университетінің зерттеушілері ұсынған CONPrint3D тұжырымдамасы: а) CONPrint3D тұжырымдамасының компьютерлік моделі, ә) М38-5 бетон сорғысы машинасында дәлдікті өлшеу: 1 - нысананы шағылыстырығыш, 2 - баспа бастиегінің маникені, 3 - нысананы бақылауға арналған тахеометрі

Қорытынды. Қазіргі уақытта белгілі бетонды қабаттап құю жобаларының көпшілігі баспа бастиегін жылжыту үшін басқа салаларда дәлелденген робототехника тұжырымдамаларын қолдануға негізделген. Бұл қолданыстағы жүйелер олардың қолдану облыстарында өте жақсы жұмыс істейді, тек оны бетонды қабаттап құюға бейімдеу керек болады. Дегенмен, құрылыш алаңының ауданын арттыру және баспа бастиектің еркіндік дәрежесін көбейту мақсатында бірнеше конструкцияларды біріктіріп, құрделі жүйе жасаған жобаларда бар. Қолданыстағы робот конструкцияларынан басқа құрылыш машиналарын 3D принтерге сәтті бейімдеген жобалар да бар. Біздің ойымызша, неғұрлым ұлкен құрылыш ауданын қамти алатын, баспа бастиегінің еркіндік дәрежесі көп, құрылыштағы агрессивті ортандың әсеріне төтеп бере алатын, жүккөтергіштігі көп және дәлдігі жоғарғы конструкция болашақта осы салада айқын басымдылықа ие болады деп санаймыз.

ӘДЕБИЕТТЕР

- 1) Khoshnevis, B. Innovative rapid prototyping process making large sized, smooth surface complex shapes in a wide variety of materials// Materials Technology – 1998 – Vol. 13 – pp.52–63.
- 2) Khoshnevis, B. Automated construction by contour crafting-related robotics and information technologies// Automation in Construction – 2004 – Vol. 13 – pp.5-19.
- 3) <https://contourcrafting.com/>
- 4) <https://www.iconbuild.com/technology>
- 5) <http://www.winsun3d.com/en>
- 6) <https://cobod.com/bod2/>
- 7) <https://specavia.pro/>
- 8) <https://www.3dnatives.com/en/vulcan-ii-140320195/#!>
- 9) <https://likeman.info/3dprinting/stroitelnyj-3d-printer-bod2/>
- 10) <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots>
- 11) <https://www.fanuc.eu/de/en/robots/robot-range-page>
- 12) <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots>
- 13) X. Zhang, M. Li, J.H. Lim, Y. Weng, Y.W.D. Tay, H. Pham, Q.-C. Pham. Large-scale 3D printing by a team of mobile robots// Automation in Construction – 2018 – Vol.95 – pp. 98-106.
- 14) <https://cybe.eu/technology/3d-printers/>
- 15) <https://magazin.tu-braunschweig.de/m-post/3d-betondruck-an-der-tu-braunschweig/>
- 16) <https://www.3dprint.soften.com.ua/novosti-3dprintsoften/254-apis-cor-pechataet-s-pomoshchyu-3d-printera-doma-bukvalno-za-24-chasa.html>
- 17) https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:3D%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80_Apis_Cor.jpg

- 18) <https://www.apis-cor.com/gallery>
- 19) <https://www.hindcon3d.com/>
- 20) https://www.ipa.fraunhofer.de/content/dam/ipa/de/documents/Kompetenzen/Roboter-und-Assistenzsysteme/Produktblatt_Paralleler_Seilroboter.pdf
- 21) <https://www.inf.bi.ruhr-uni-bochum.de/index.php?lang=de&Itemid=415>
- 22) Viktor Mechtcherine, Venkatesh Naidu Nerella, Frank Will, Mathias Näther, Jens Otto, Martin Krause. Large-scale digital concrete construction – CONPrint3D concept for on-site, monolithic 3D-printing// Automation in Construction – 2019 – Volume 107.
- 23) Odysseas Kontovourkis, George Tryfonos and Christos Georgiou. Robotic additive manufacturing (RAM) with clay using topology optimization principles for toolpath planning: the example of a building element// Architectural Science Review – 2019.
- 24) Paul Carneau, Romain Mesnil, Nicolas Roussel, Olivier Baverel. Additive manufacturing of cantilever – From masonry to concrete 3D printing// Automation in Construction – 2020 – Volume 116.
- 25) C. Borg Costanzi, Z.Y. Ahmed, H.R. Schipper, F.P. Bos, U. Knaack, R.J.M. Wolfs. 3D Printing Concrete on temporary surfaces: The design and fabrication of a concrete shell structure// Automation in Construction – 2018 – Volume 94.
- 26) Steven J. Keating, Julian C. Leland, Levi Cai, Neri Oxman. Toward site-specific and self-sufficient robotic fabrication on architectural scales// SCIENCE ROBOTICS – 2017.

М. Сагынтай*, Ж. Байгунчеков
Satbayev University, Алматы, Казахстан
*e-mail: skmughagali-2009@mail.ru

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ 3D ПРИНТЕРОВ ДЛЯ ПОСЛОЙНОЙ ЗАЛИВКИ БЕТОНА

Аннотация. В этой работе изучена технология послойной заливки бетона и строительства 3D принтеров. Степень свободы рабочего органа 3D-принтера в конструкции, позволяющая печатающей головке двигаться по заданной траектории, напрямую влияет на заливку слоистого бетона от простой параллельной формы до сложной формы относительно земли. Детально анализируются конструкции 3D-принтеров в строительстве, рассматриваются особенности каждой конструкции, анализируются их достоинства и недостатки. Практически все рассматриваемые конструкции 3D-принтеров взяты из реальных проектов. Кроме того, обсуждаются размеры и особенности рабочих зон, которые могут быть обеспечены строительными 3D-принтерами при строительстве, а также их прямое влияние на форму, сложность и размер строящегося здания.

Ключевые слова: 3D принтер в строительстве, заливка бетона, сопло 3D принтера, печатающая головка.

M. Sagyntay*, Zh. Baigunchekov
Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
*e-mail: skmughagali-2009@mail.ru

ANALYSIS OF THE DESIGN OF 3D PRINTERS FOR LAYER BY LAYER CONCRETE POURING

Abstract. In this work, the technology of layer-by-layer concrete pouring and construction of 3D printers was studied. The degree of freedom of the working body of a 3D printer in the design, which allows the print head to move along a given trajectory, directly affects the pouring of layered concrete from a simple parallel shape to a complex shape relative to the ground. The designs of 3D printers in construction are analyzed in detail, the features of each design are considered, their advantages and disadvantages are analyzed. Almost all of the considered designs of 3D printers are taken from real projects. In addition, the dimensions and features of work areas that can be provided by construction 3D printers during construction are discussed, as well as their direct impact on the shape, complexity and size of the building under construction.

Keywords: 3D printer in construction, concrete pouring, 3D printer nozzle, print head.

¹**И.Е. Волокитина, ²А.В. Волокитин, ²Е.А. Панин, ³Г.Ж. Молдабаева,
¹О.Ю. Салько, ³Е.И. Кульдеев**

¹Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан

²Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

³Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет
имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

e-mail:irinka.vav@mail.ru

СРАВНЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЕМЕДНОЙ И СТАЛЕАЛЮМИНЕВОЙ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОВОЛОК

Аннотация. В статье были изучены модели сталемедной и сталеалюминевой биметаллических проволок, полученные в ходе компьютерного моделирования в программе Deform. Рассмотрены основные параметры напряженно состояния: эквивалентное напряжение и среднее гидростатическое давление. При рассмотрении эквивалентного напряжения установлено, что в модели с алюминиевой оболочкой наблюдается достаточно однородное распределение напряжения по всем слоям; в модели с медной оболочкой за счет интенсификации обжатия стального сердечника распределение напряжений в обоих слоях крайне неравномерное – в оболочке уровень напряжений резко снижается в направлении от наружных слоев к внутренним. При рассмотрении среднего гидростатического давления установлено, что при изменении алюминиевой оболочки на медную, в обоих слоях гидростатическое давление возрастает по модулю, что является следствием повышения общего уровня сопротивления деформации.

Ключевые слова: моделирование, напряженное состояние, РКУП волочение.

Наиболее подходящий способ, на основе которого возможно разработать пригодную к промышленной конвертации технологию получения биметаллической проволоки и прутка с повышенными механическими свойствами является РКУП-волочение. На сегодняшний день было проведено много исследований взаимосвязи структура-свойства для однородной медной или стальной проволоки этим методом, который доказал свою эффективность [1-8].

Одним из наиболее эффективных методов теоретического анализа любого технологического процесса в настоящее время является компьютерное моделирование с помощью метода конечных элементов [9-15]. У данного способа исследования есть несколько неоспоримых преимуществ:

- возможность визуализации изучаемого процесса, даже внутри заготовки или инструмента, что является невозможным в реальных условиях;
- комплексный анализ сразу нескольких параметров в любой точке исследуемого объекта, что при традиционных способах также часто бывает невозможным, например, отсутствии необходимых эмпирических уравнений;
- возможность оптимизации процесса путем варьирования значений определенных геометрических или технологических параметров.

Все эти преимущества сделали МКЭ-моделирование достаточно распространенным способом теоретического изучения. Если рассматривать МКЭ-моделирование с позиции обработки давлением, то здесь лидирующую позицию занимает программа Deform, которая позволяет смоделировать почти любой процесс деформирования.

В ходе компьютерного моделирования в программе Deform были получены корректные модели совмещенного процесса «прессование-волочение» для деформирования биметаллической проволоки. В качестве исходной заготовки использовалась биметаллическая проволока с соединениями типа «сталь-алюминий» и «сталь-медь» диаметром 10 мм, причем диаметр стального сердечника был равен 8 мм. Материалом сердечника была выбрана сталь

AISI-1010 (аналог стали 10). В качестве материала оболочки был выбран алюминиевый сплав 1100 и медный сплав CDA 110 (техническая медь).

При изучении эквивалентного напряжения на стадии РКУ-прессования было установлено, что при прохождении через каналы РКУ-матрицы, в оболочке и сердечнике развиваются разные уровни напряжения, охватывающие всю зону стыка каналов. В алюминиевой оболочке среднее значение эквивалентного напряжения равно 110÷120 МПа (рисунок 1а). В стальном сердечнике, за счет одновременного действия тянущей скорости у переднего конца, вызывающей растяжение, и подпирающей скорости у заднего конца, вызывающей сжатие, возникает знакопеременное распределение напряжения. При прохождении промежуточного канала наибольшая величина напряжения возникает в нижней части сердечника, достигая 480 МПа. Но, в выходном канале, когда влияние задней скорости ослабевает, максимальные напряжения реализуются уже на верхней части сердечника (490 МПа), в целом уравновешивая весь очаг деформации.

При волочении (рисунок 1б) очаг деформации является полностью симметричным. В оболочке среднее значение эквивалентного напряжения равно 100 МПа. Уровень средних напряжений в сердечнике значительно снижается до 280 МПа.

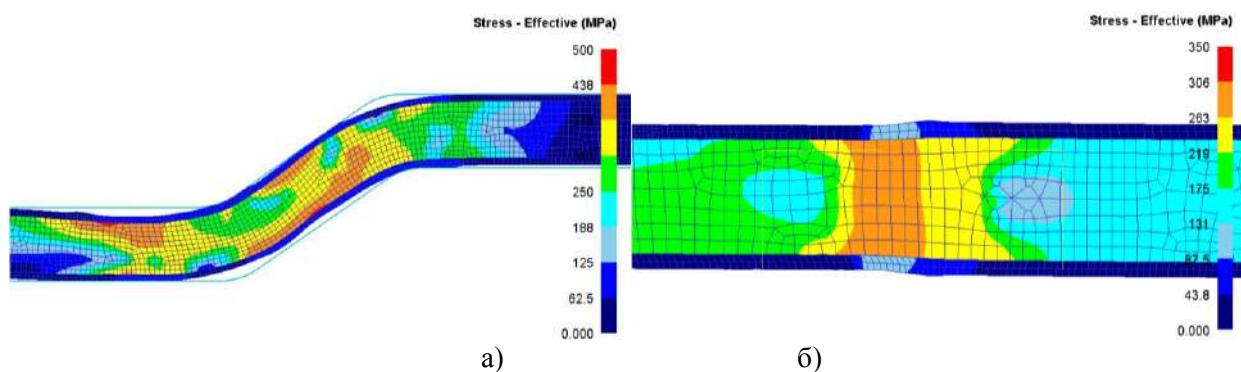


Рисунок 1. Эквивалентное напряжение в модели с алюминиевой оболочкой
а – стадия РКУП; б – стадия волочения

В модели с медной оболочкой было отмечено, на стадии РКУ-прессования в стальном сердечнике распределение эквивалентного напряжения и его численные значения являются идентичными модели с оболочкой из алюминия. В медной оболочке среднее значение эквивалентного напряжения равно 310÷330 МПа (рисунок 2а).

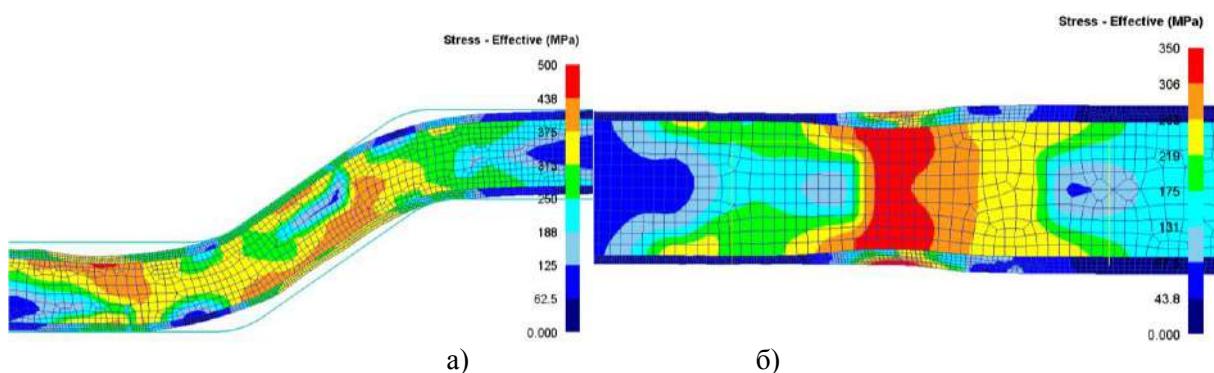


Рисунок 2 . Эквивалентное напряжение в модели с медной оболочкой
а – стадия РКУП; б – стадия волочения

На стадии волочения (рисунок 2б) очаг деформации также становится симметричным. В медной оболочке, за счет более высокого уровня сопротивления деформации материала,

возникает крайне неоднородное распределение напряжений по толщине (в отличие от алюминиевой, где распределение напряжений достаточно однородно). В непосредственной зоне контакта оболочки с волокой величина напряжения составляет 300-310 МПа, постепенно снижаясь до 220 МПа в зоне контакта с сердечником. В стальном сердечнике характер распределения напряжений остается аналогичным ранее рассмотренному (рисунок 1б). Однако, за счет более сильного обжатия уровень эквивалентного напряжения здесь возрастает до 350 МПа.

Наибольший интерес представляет именно стадия волочения, поскольку здесь формируется конечная толщина проволоки, а также финальное распределение толщин оболочки и сердечника. На рисунке 3 представлено распределение эквивалентного напряжения по всему поперечному сечению заготовки.

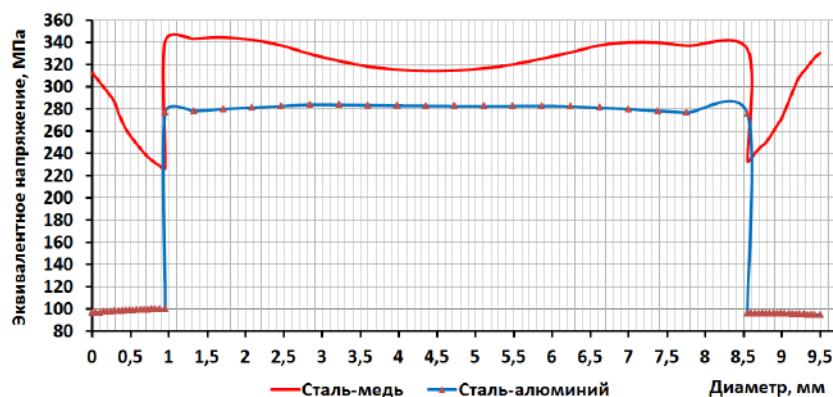


Рисунок 3. Распределение эквивалентного напряжения по сечению

Отчетливо видно, что в модели с алюминиевой оболочкой распределение эквивалентного напряжения по сечению полностью однородно, на что указывает горизонтальный характер кривой в обоих слоях. В модели с медной оболочкой распределение эквивалентного напряжения в сердечнике имеет небольшую неоднородность - величина напряжения меняется от 350 МПа на поверхности сердечника до 315 МПа в центре. В оболочке распределение эквивалентного напряжения крайне неравномерное – разница напряжений по толщине оболочки достигает 90-110 МПа.

При рассмотрении среднего гидростатического давления на стадии РКУ-прессования было выявлено, что характер распределения данного параметра аналогичен распределению эквивалентного напряжения. В алюминиевой оболочке (рис. 4а) на участках, где контакт с инструментом отсутствует, возникают растягивающие напряжения 100÷110 МПа.

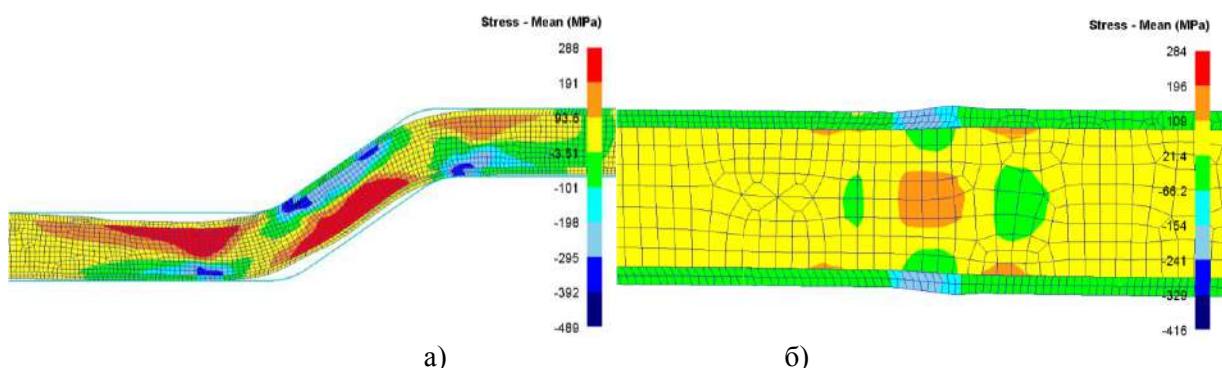


Рисунок 4. Среднее гидростатическое давление в модели с алюминиевой оболочкой
а – стадия РКУП; б – стадия волочения

На прямолинейных участках, где имеется контакт с матрицей, оболочка испытывает противодавление от матрицы, что приводит к созданию сжимающих напряжений $-80\div-90$ МПа. Максимальный уровень противодавления создается непосредственно на стыках каналов – здесь величина сжимающих напряжений достигает значения -350 МПа.

В стальном сердечнике распределение растягивающих и сжимающих напряжений можно назвать идентичным распределению в оболочке. На верхних участках входного и выходного каналов, а также на нижнем участке промежуточного канала возникают растягивающие напряжения, значение которых равно около $230\div240$ МПа. На противоположных участках во всех каналах реализуются сжимающие напряжения, достигающие -360 МПа.

При волочении (рисунок 4б) очаг деформации, как и при рассмотрении эквивалентного напряжения, является полностью симметричным. В оболочке возникают сжимающие напряжения примерно -180 МПа. В центре сердечника создаются растягивающие напряжения на уровне 160 МПа. Снижение этих напряжений наблюдается непосредственно в зонах контакта с оболочкой, где их величина снижается до -40 МПа.

В модели с медной оболочкой на стадии РКУ-прессования было выявлено, что характер распределения данного параметра в стальном сердечнике полностью аналогично распределению в модели с оболочкой из алюминия. В медной оболочке (рисунок 5а) на участках, где контакт с инструментом отсутствует, возникают растягивающие напряжения $150\div160$ МПа. На прямолинейных участках, где имеется контакт с матрицей, оболочка испытывает противодавление от матрицы, что приводит к созданию сжимающих напряжений $-380\div-400$ МПа. Максимальный уровень противодавления создается непосредственно на стыках каналов – здесь величина сжимающих напряжений достигает значения -490 МПа.

При волочении (рисунок 5б) в оболочке возникают сжимающие напряжения примерно -240 МПа. В центре сердечника создаются растягивающие напряжения на уровне 200 МПа. Снижение этих напряжений наблюдается непосредственно в зонах контакта с оболочкой, где их величина снижается до -80 МПа.

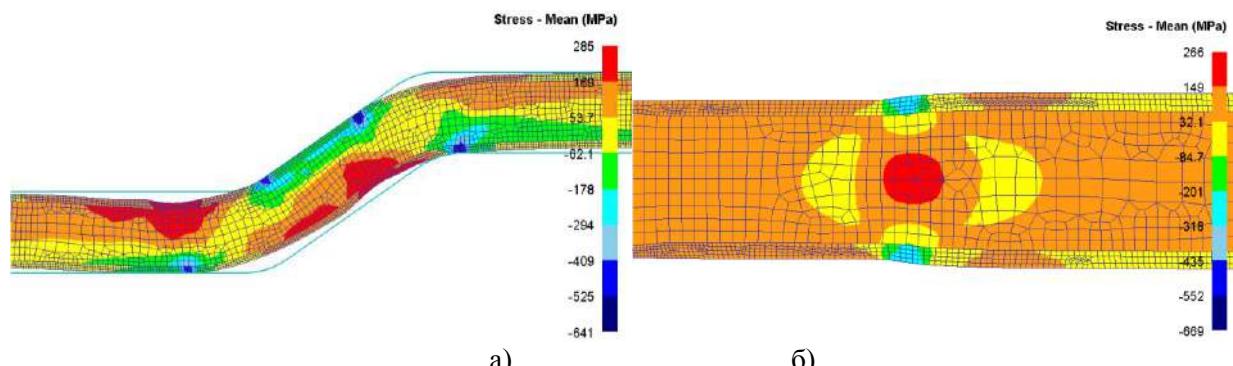


Рисунок 5. Среднее гидростатическое давление в модели с медной оболочкой
а – стадия РКУП; б – стадия волочения

На рисунке 6 представлено распределение среднего гидростатического давления по сечению заготовки.

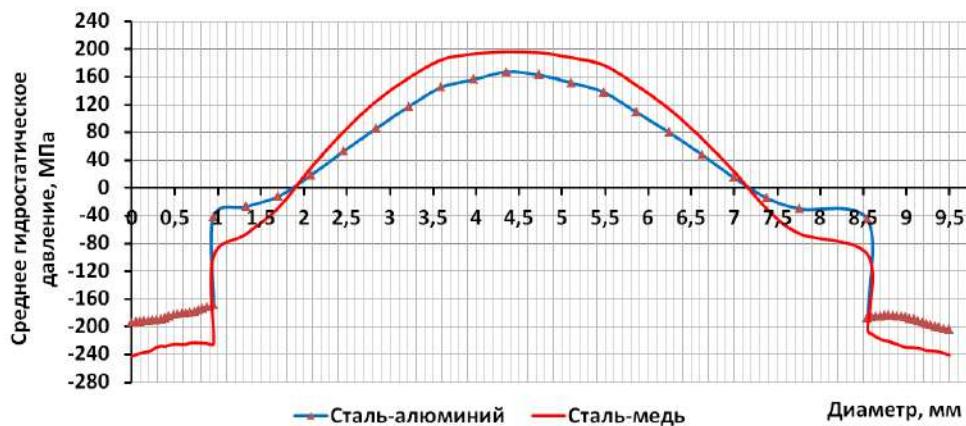


Рисунок 6. Распределение среднего гидростатического давления по сечению

Выводы: при изучении моделей, полученных в ходе компьютерного моделирования в программе Deform, были рассмотрены основные параметры напряженно состояния: эквивалентное напряжение и среднее гидростатическое давление. При рассмотрении эквивалентного напряжения было отмечено, что в модели с алюминиевой оболочкой наблюдается достаточно однородное распределение напряжения по всем слоям; в модели с медной оболочкой за счет интенсификации обжатия стального сердечника распределение напряжений в обоих слоях крайне неравномерное – в оболочке уровень напряжений резко снижается в направлении от наружных слоев к внутренним; в сердечнике характер распределения напряжений имеет «градиентный» характер, с ярко выраженной чашевидной формой графика. При рассмотрении среднего гидростатического давления было отмечено, что при изменении алюминиевой оболочки на медную, в обоих слоях гидростатическое давление возрастает по модулю, что является следствием повышения общего уровня сопротивления деформации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Naizabekov A., Lezhnev, S., Volokitin A., Panin E., Knapinski M. Development and research of combined process of "equal channel angular pressing – drawing" // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 52. 2017. P. 172-179.
- [2] A. Naizabekov, I. Volokitina, E. Panin, A. Volokitin, S. Lezhnev, T. Garstka, M. Knapinski, M. Latypova, D. Zhumagaliev. Computer simulation of combined deformation method "ECA-pressing – drawing" // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 55. 2020. P. 499-506.
- [3] Naizabekov A., Volokitina I., Volokitin A., Panin E. Structure and mechanical properties of steel in the process "pressing-drawing" // Journal of Materials Engineering and Performance. 2019. Vol. 28. P. 1762-1771.
- [4] Volokitina I.E., Volokitin A.V., Naizabekov A.B., Lezhnev S.N. Change in structure and mechanical properties of grade A0 aluminum during implementation of a combined method of ECAE-drawing deformation // Metallurgist. 2020. Vol. 63. P. 978–983.
- [5] Volokitina I.E., Volokitin A.V. Evolution of the Microstructure and Mechanical Properties of Copper during the Pressing–Drawing Process // Physics of Metals and Metallography. 2018. Vol. 119. P. 917-921.
- [6] Lezhnev S.N., Volokitina I.E., Volokitin A.V. Evolution of Microstructure and Mechanical Properties of Steel during Pressing–Drawing // Physics of Metals and Metallography. 2017. Vol. 118. P. 1167-1170.
- [7] С.Н. Лежнев, Г.Г. Курапов, И.Е. Волокитина, Е.П. Орлова. Влияние совмещенного процесса «прессование-волочение» на свойства деформируемой медной проволоки // Вестник КазНИТУ. Алматы 2017. №4 (122), 79-84.
- [8] Волокитин А.В., Чукин М.В. Моделирование совмещенного процесса «прессование-волочение» с применением равноканальной ступенчатой матрицей. Республиканский научный журнал // Технология производства металлов и вторичных материалов. Темиртау, 2013, №2. – С. 128-135.

- [9] Cerri E., De Marco P.P., Leo P. FEM and metallurgical analysis of modified 6082 aluminium alloys processed by multipass ECAP: Influence of material properties and different process settings on induced plastic strain // Journal of Materials Processing Technology. 2009, Vol. 209, Iss. 3, pp. 1550-1564.
- [10] Djavanroodi F., Ebrahimi M. Effect of die channel angle, friction and back pressure in the equal channel angular pressing using 3D finite element simulation // Materials Science and Engineering A. 2010, Vol. 527, Iss. 4-5, pp. 1230-1235.
- [11] Naizabekov A., Lezhnev S., Arbuz A., Volokitina I., Panin E., Volokitin A. Structure and Mechanical Properties of AISI1045 in the Helical Rolling–Pressing Process // Journal of Materials Engineering and Performance. 2020, Vol. 29, Iss. 1, pp. 315-329.
- [12] Rosochowski A., Olejnik L. Finite element simulation of severe plastic deformation processes. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part L - Journal of Materials - Design And Applications. 2007, Vol. 221, Iss. L4, pp. 187-196.
- [13] Milind T.R., Date P.P. Analytical and finite element modeling of strain generated in equal channel angular extrusion // International Journal of Mechanical Sciences. 2012, Vol. 56, Iss. 1, pp. 26-34.
- [14] Abd El Aal, Mohamed Ibrahim. 3D FEM simulations and experimental validation of plastic deformation of pure aluminum deformed by ECAP and combination of ECAP and direct extrusion // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2017, Vol. 27, Iss. 6, pp. 1338-1352.
- [15] Olejnik L., Rosochowski A. Methods of fabricating metals for nano-technology // Bulletin of the Polish Academy of Sciences - Technical sciences. - 2005. - Vol. 53, No. 4. - P. 413-423.

REFERENCES

- [1] Naizabekov A., Lezhnev, S., Volokitin A., Panin E., Knapinski M. Development and research of combined process of "equal channel angular pressing – drawing" // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 52. 2017. P. 172-179.
- [2] A. Naizabekov, I. Volokitina, E. Panin, A. Volokitin, S. Lezhnev, T. Garstka, M. Knapinski, M. Latypova, D. Zhumagaliev. Computer simulation of combined deformation method "ECA-pressing – drawing" // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 55. 2020. P. 499-506.
- [3] Naizabekov A., Volokitina I., Volokitin A., Panin E. Structure and mechanical properties of steel in the process "pressing-drawing" // Journal of Materials Engineering and Performance. 2019. Vol. 28. P. 1762-1771.
- [4] Volokitina I.E., Volokitin A.V., Naizabekov A.B., Lezhnev S.N. Change in structure and mechanical properties of grade A0 aluminum during implementation of a combined method of ECAE-drawing deformation // Metallurgist. 2020. Vol. 63. P. 978–983.
- [5] Volokitina I.E., Volokitin A.V. Evolution of the Microstructure and Mechanical Properties of Copper during the Pressing–Drawing Process // Physics of Metals and Metallography. 2018. Vol. 119. P. 917-921.
- [6] Lezhnev S.N., Volokitina I.E., Volokitin A.V. Evolution of Microstructure and Mechanical Properties of Steel during Pressing–Drawing // Physics of Metals and Metallography. 2017. Vol. 118. P. 1167-1170.
- [7] S.N. Lezhnev, G.G. Kurapov, I.E. Volokitina, E.P. Orlova. Vlijanie sovmeshhennogo processa «pressovanie-volochenie» na svojstva deformiruemoj mednoj provoloki // Vestnik KazNITU. Almaty 2017. №4 (122), 79-84.
- [8] Volokitin A.V., Chukin M.V. Modelirovaniye sovmeshhennogo processa «pressovanie-volochenie» s primeneniem ravnokanal'noj stupenchatoj matricej. Respublikanskij nauchnyj zhurnal // Tehnologija proizvodstva metallov i vtorichnyh materialov. Temirtau, 2013, №2. – S. 128-135.
- [9] Cerri E., De Marco P.P., Leo P. FEM and metallurgical analysis of modified 6082 aluminium alloys processed by multipass ECAP: Influence of material properties and different process settings on induced plastic strain // Journal of Materials Processing Technology. 2009, Vol. 209, Iss. 3, pp. 1550-1564.
- [10] Djavanroodi F., Ebrahimi M. Effect of die channel angle, friction and back pressure in the equal channel angular pressing using 3D finite element simulation // Materials Science and Engineering A. 2010, Vol. 527, Iss. 4-5, pp. 1230-1235.
- [11] Naizabekov A., Lezhnev S., Arbuz A., Volokitina I., Panin E., Volokitin A. Structure and Mechanical Properties of AISI1045 in the Helical Rolling–Pressing Process // Journal of Materials Engineering and Performance. 2020, Vol. 29, Iss. 1, pp. 315-329.

- [12] Rosochowski A., Olejnik L. Finite element simulation of severe plastic deformation processes. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part L - Journal of Materials - Design And Applications. 2007, Vol. 221, Iss. L4, pp. 187-196.
- [13] Milind T.R., Date P.P. Analytical and finite element modeling of strain generated in equal channel angular extrusion // International Journal of Mechanical Sciences. 2012, Vol. 56, Iss. 1, pp. 26-34.
- [14] Abd El Aal, Mohamed Ibrahim. 3D FEM simulations and experimental validation of plastic deformation of pure aluminum deformed by ECAP and combination of ECAP and direct extrusion // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2017, Vol. 27, Iss. 6, pp. 1338-1352.
- [15] Olejnik L., Rosochowski A. Methods of fabricating metals for nano-technology // Bulletin of the Polish Academy of Sciences - Technical sciences. - 2005. - Vol. 53, No. 4. - P. 413-423.

¹I.E. Volokitina, ²A.V. Volokitin, ²E. A. Panin, ³G.Zh. Moldabaeva, ¹O. Yu. Salko, ³Ye.I. Kuldeev

¹Rudny industrial institute, Rudny, Kazakhstan

²Karaganda industrial university, Temirtau, Kazakhstan

³ Kazakh national research technical university named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

e-mail:irinka.vav@mail.ru

COMPARISON OF THE STRESS STATE OF STEEL-COPPER AND STEEL-ALUMINUM BIMETALLIC WIRES

Abstract. In this article, the models of steel-copper and steel-aluminum bimetallic wires obtained in the course of computer simulation in Deform program were studied, the main parameters of the stress state (equivalent stress and average hydrostatic pressure) were considered. When considering the equivalent stress, it is found that in the model with an aluminum shell, a fairly uniform distribution of stress is observed over all layers; in the model with a copper shell, due to the intensification of compression of the steel core, the stress distribution in both layers is extremely uneven – in the shell, the stress level decreases sharply in the direction from the outer layers to the inner ones. When considering the average hydrostatic pressure, it is found that when the aluminum shell changes to copper, the hydrostatic pressure in both layers increases in absolute values, which is a consequence of an increase in the overall level of deformation resistance.

Keywords: simulation, stress state, ECAP-drawing.

М.Е. Исаметова*, Р.К. Нусіпәли, Г.У. Калдан, О.А. Джасинбеков, Х.А. Ахмедов
Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева,
Алматы, Казахстан
*e-mail: isametova69@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО КОЛЕСА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ЛОПАСТНОЙ РЕШЕТКОЙ

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы повышения энергоэффективности динамических насосов, предложена методика модернизации рабочих колес. Для повышения гидравлического КПД был рассмотрен вариант замены традиционной гомогенной лопастной решетки на гетерогенную решетку. Для обоснования целесообразности применения варианта модификации, приведена и проанализирована теория безударного входа потока в рабочее колесо. В статье был приведен алгоритм расчета и блок схема для автоматизации расчета параметров колеса с гетерогенной лопастной решеткой, где исходными данными были напор насоса H , подача насоса Q , частоты вращения вала центробежного многоступенчатого насоса n . Также был предложен параметр варьирования подачи для определения углов набегания и углов установки лопастей гетерогенной решетки, который определяется из условия расширения зоны подачи. Приведены результаты автоматизированного расчета параметров гетерогенной лопастной решетки.

Ключевые слова: центробежный насос, рабочее колесо, лопастная решетка, модификация, энергоэффективность, напор, подача.

Введение. Центробежные насосы (ЦН) широко используются во всех отраслях промышленности. И на сегодняшний день мы имеем очевидный факт того, что энергоёмкость насосного оборудования является достаточно высокой. В различных отраслях энергопотребление насосов составляет в среднем 25-60% от всей затрачиваемой мощности [1]. Распределение потребления электроэнергии насосным оборудованием, по данным Европейской организации производителей насосного оборудования «EuroPump» [2] занимает второе место после потребления энергии технологическим оборудованием. При этом почти третья часть энергозатрат приходится на динамические насосы. Исходя из вышесказанного следует что, проблема снижения затрат энергии, потребляемой насосным оборудованием является одной из ключевых задач технической науки. Особую остроту данная проблема приобретает на сегодняшнее время из-за резкого сокращения относительно дешевых традиционных источников энергии.

На сегодняшний день можно выделить следующие направления модернизации насосного оборудования:

- совершенствование проточной части насоса в целях повышения экономичности;
- расширение рабочей зоны по подаче;
- снижение вибрационности насоса;
- увеличение ресурса передних и межступенчатых уплотнений рабочих колес за счет применения износостойких незадиаемых материалов;
- применение торцовых уплотнений, отвечающих требованиям стандарта API 682;
- уменьшения осевого хода ротора двигателя [3].

Объект исследования. Объектом модернизации является многоступенчатый горизонтальный центробежный насос. Многоступенчатые ЦН имеют некоторые конструктивные особенности: углы сбегания потока из рабочего колеса малы, скорости относительно велики и доля преобразования скоростной энергии, приходящаяся на отводящее устройство, значительна, вследствие этого снижаются гидравлические показатели ступени.

Для модернизации рабочих колес необходимо выбирать лопастную систему с оптимальными свойствами, однако мероприятия, способствующие улучшению одного из

параметров, чаще всего находится в противоречии с обеспечением других. На данный момент существует достаточное количество научных изысканий по модификации геометрии и структуры лопастных колес, с целью улучшения гидравлических характеристик. Анализ приведен в таблице 1.

Таблица 1. Данные по модификации лопастной системы колеса

Признаки Авторы	Автор 1 [4]	Автор 2 [5]	Автор 3[6]	Автор 4[7]
Модификация	орамашивание	двухярусная решетка	гетерогенная с тремя парами лопастей и одинаковыми выходными углами	нанесение гидрофобных покрытий на поверхность каналов и дисков колеса
Достоинства	оказывает влияние на собственные частоты колеса, а именно увеличивает их	увеличивает скорость потока	не требует модернизации направляющего аппарата	уменьшение шероховатости каналов
Недостатки	усложняет геометрию и технологию изготовления	увеличивает трение потока о лопасти	неравномерность потока вдоль лопаток	сложность в технологии нанесения и увеличение цикла производства колес

После анализа существующих направлений модернизации центробежных колес было решено существующую лопастную решетку модифицировать в гетерогенную, то есть решетку с переменным шагом. Этот способ позволит технически оставаться в рамках существующей технологии производства колеса и увеличив рабочую зону насоса, увеличить общеинтегральный гидравлический КПД.

Теоретические основы методики расчета лопастных систем с переменным шагом.

Концепция переменного шага (рисунок 1) базируется на идеях перераспределения преимущественно ударных потерь на входе в лопастную систему во всём рабочем колесе.

Реализация подобных решений предполагает использование новых подходов при проектировании. В частности, лопастная система насоса рассчитывается не на одну точку ($Q_{расч}$, $H_{расч}$), а на требуемую область подач ($Q(Q_1, Q_2 \dots Q_n)$, $H(H_1, H_2 \dots H_n)$).

Таким образом формируемая гидродинамическая решётка имеет разные углы наклона и углы установки. Как следствие расширяется рабочая зона насоса. При этом вблизи оптимума η_{opt} может иметь место локальное снижение КПД, однако его значения на границах расчётного диапазона подач Q_{min} и Q_{max} возрастают. Таким образом среднеинтегральный КПД насоса с гетерогенной лопастной системой оказывается выше, чем у аналогов с классической (гомогенной) лопастной системой [8]

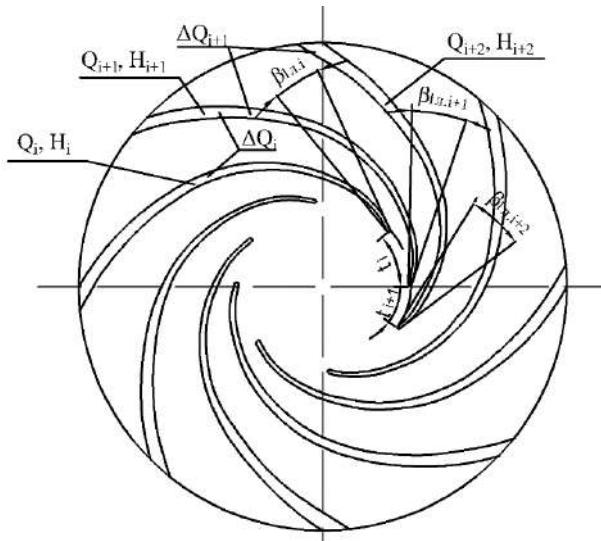


Рисунок 1. Схема для расчета параметров гетерогенной решетки

Для анализа достоверности утверждения, что гетерогенная решетка уменьшает ударные потери в насосном колесе нами была рассмотрена методика расчета ударных потерь приведенная автором в работе [9 26].

Согласно методике для проекций абсолютных скоростей на окружное направление по углу натекания и окружное направление по конструктивному углу лопасти запишем:

- проекция абсолютной скорости на окружное направление по углу натекания:

$$h_{уд.н} = \varphi_n \frac{\Delta v_{ун1}^2}{2g}; \quad (1)$$

где: $h_{уд.н}$ – потери потока на удар при входе в колесо; φ_n - коэффициент ударных потерь решетки насосного колеса; $\Delta v_{ун1}^2$ – разница окружных составляющих абсолютной скорости при отклонениях направления потока от его направления в режиме безударного входа.

Для проекций абсолютных скоростей на окружное направление по углу натекания и окружное направление по конструктивному углу лопасти запишем:

- проекция абсолютной скорости на окружное направление по углу натекания:

$$v_{ун1}^2 = U_{1н} - \frac{\operatorname{ctg}(\beta_{1н})}{2\pi \cdot R_{н1} \cdot b_{н1} \cdot \Psi_{1н}} Q; \quad (2)$$

где: $U_{1н}$ – окружная скорость; $\beta_{1н}$ – угол набегания потока на лопасть; $R_{н1}$ - радиус входа в колесо; $b_{н1}$ – ширина канала колеса на входе; $\Psi_{1н}$ - коэффициент стеснения потока.

- проекция абсолютной скорости на окружное направление по углу решетки:

$$v_{ун1л}^2 = U_{1н} - \frac{\operatorname{ctg}(\beta_{1нл})}{2\pi \cdot R_{н1} \cdot b_{н1} \cdot \Psi_{1н}} Q; \quad (3)$$

Где: $\beta_{1нл}$ -угол потока набегания на лопасть по углу решетки

При расходе, соответствующем безударному входу на колесо, разность окружных составляющих скорости:

$$\Delta v_{ун1}^0 = v_{ун1}^0 - v_{ун1л}^0 = \left(\frac{\operatorname{ctg}(\beta_{1н}^0)}{2\pi \cdot R_{н1} \cdot b_{н1} \cdot \Psi_{1н}} - \frac{\operatorname{ctg}(\beta_{1нл})}{2\pi \cdot R_{н1} \cdot b_{н1} \cdot \Psi_{1н}} \right) Q_0. \quad (4)$$

где: Q_0 - постоянная величина расхода для фиксированных значений крутящего момента

На рисунке 2 рассмотрим следующую модель течения в треугольниках скоростей:

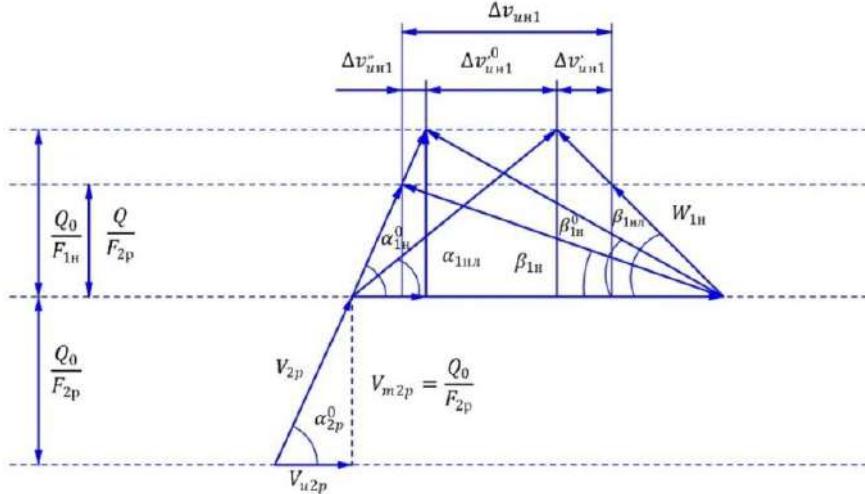


Рисунок 2. Модель течения в треугольниках скоростей для системы рабочее колесо

Из рисунка 2 видно, что полная разность состоит из трех слагаемых:

$$\Delta v_{uh1}^2 = \Delta v'_{uh1} + \Delta v''_{uh1} + \Delta v^0_{uh1} \quad (5)$$

Имеем:

$$\Delta v'_{uh1} = \frac{ctg(\beta_{1h})}{2\pi \cdot R_{h1} \cdot b_{h1} \cdot \psi_{1h}} (Q_0 - Q); \quad (6)$$

$$\Delta v''_{uh1} = \frac{ctg(\alpha_{2pl})}{2\pi \cdot R_{h1} \cdot b_{p2} \cdot \psi_{2p}} (Q - Q_0). \quad (7)$$

Учитывая соотношение

$$v_{uh1}^2 = \frac{R_{p2}}{R_{h1}} v_{up2} = \frac{R_{p2}}{R_{h1}} \frac{ctg(\alpha_{2pl})}{2\pi \cdot R_{p2} \cdot b_{p2} \cdot \psi_{2p}} Q = \frac{ctg(\alpha_{2pl})}{2\pi \cdot R_{h1} \cdot b_{p2} \cdot \psi_{2p}} Q \quad (8)$$

Окончательно

$$\Delta v_{uh1}^2 = 2g(LQ + KQ_0)^2 = 2g(Le^{-x} + K)^2 Q_0^2$$

Тогда выражение для функции потерь:

$$h_{уд.н} = \varphi_h \frac{\Delta v_{uh1}^2}{2g} = \varphi_h (Le^{-x} + K)^2 Q_0^2 \quad (9)$$

Если проанализировать выражение (9), можно сделать вывод, что функция потери на удар квадратично зависит от величины окружной составляющей абсолютной скорости v_u , где одна из составляющих этой величины при расходе, соответствующем безударному входу на турбину, разность окружных составляющих скорости при входе в колесо, уменьшая угол установки лопасти, а соответственно шаг, можно отметить стремление величины $h_{уд.н}$ к минимуму.

Автоматизация проектирования центробежного колеса с гетерогенной лопастной решеткой в математической среде MATLAB.

Для сокращения сроков проектирования рабочего колеса с гетерогенной лопастной решеткой, исключения ошибок при расчетах и повышения точности построения геометрии трех лопастей с разной кривизной был создан автоматизированный модуль в математической среде MATLAB.

Алгоритм автоматизированного модуля для определения геометрических параметров базировался на классических расчетах колеса с периодической лопастной решеткой по методикам [10] и алгоритме расчета параметров гетерогенной решеткой, где результатами будут углы установки лопастей то есть углы набегания жидкости β_1 , и углы выхода β_2 , и шаг установки лопасти t .

Исходными данными для расчета основных конструктивных параметров насоса являются значения потребного напора насоса H , подачи насоса Q , частоты вращения вала центробежного многоступенчатых насоса n , а также начальные приближения конструктивных параметров, полученные по приближенной методике [10], [11], [12] расчета основных конструктивных параметров. Для расчета параметров гетерогенной лопастной решетки вводится цикл по величинам напора и подачи, которые определяются из условия расширения зоны подачи на величину $Q_i = (0.75; 1.25; 1.5)Q_{nom}$ выполняются итерации по формулам вычисления основных параметров колеса. В результате расчета по описанному алгоритму (см. блок-схему алгоритма рисунок 3) определяются значения основных конструктивных параметров рабочего колеса центробежного насоса с гетерогенной лопастной решеткой.

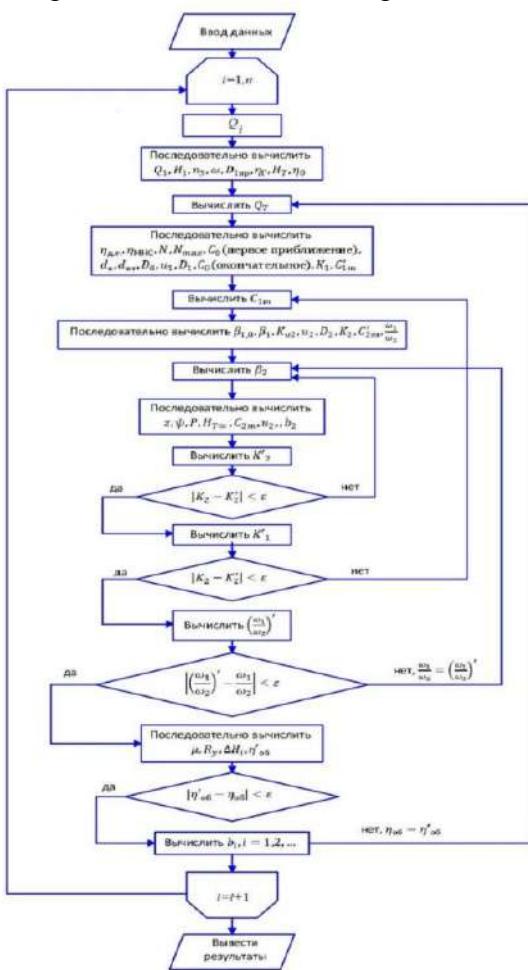


Рисунок 3. Блок схема

Для создания пользовательского интерфейса автоматизированного модуля была выбрана математическая среда MatLab.

Язык MatLab является высокоуровневым интерпретируемым языком программирования, имеет структуры данных, широкий спектр функций, интегрированную среду разработки, объектноориентированные возможности. На рисунках 4 приведено диалоговое окно с результатами автоматизированного расчета.

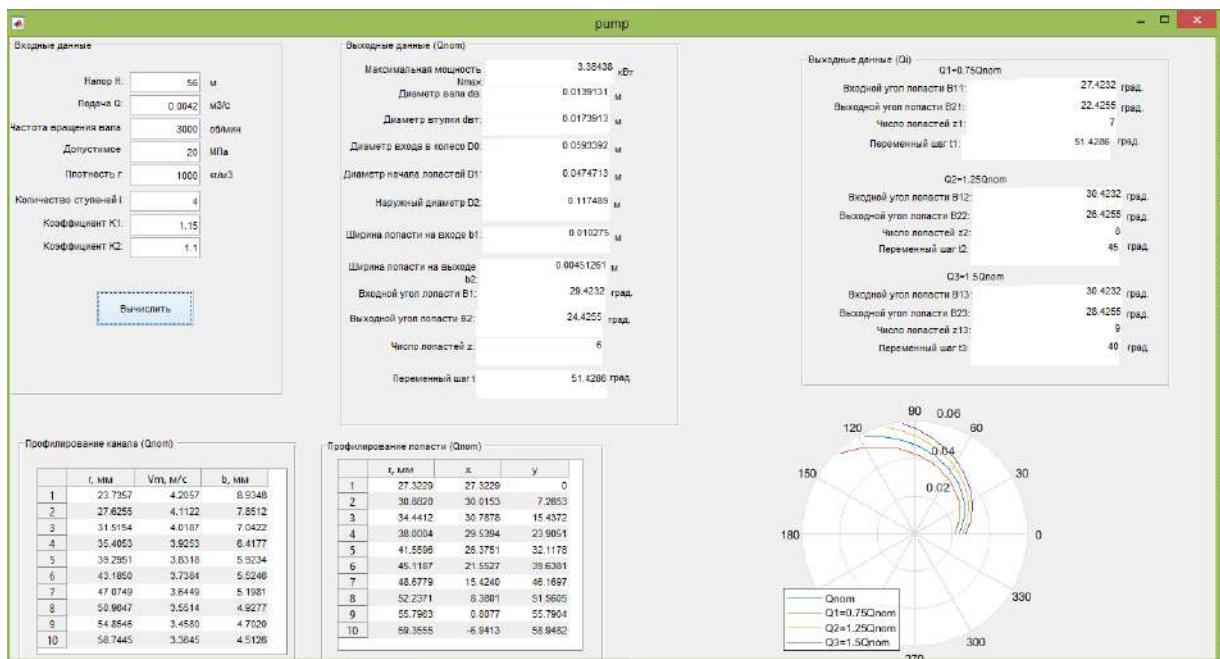


Рисунок 4. Окно программы с результатами расчета

Автоматизированный модуль позволяет сделать импорт данных декартовых координат ($x; y$) кривизны лопасти в любую CAD систему трехмерного моделирования. Для выполнения этой функции в алгоритм программы заложен оператор перевода цилиндрической системы координат в декартовую.

По данным диапазона варьирования подачи, согласно промышленным испытаниям, по кривой Q-Н характеристик (рисунок 5) были определены напоры и геометрические параметры трех лопастей гетерогенной решетки, данные сведены в таблице 2.

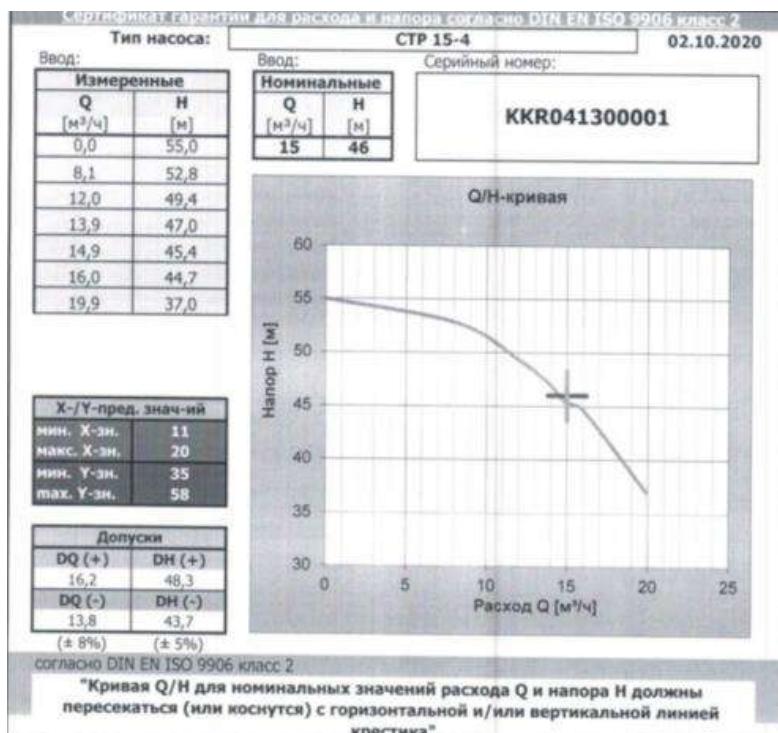


Рисунок 5. Протокол испытаний

Таблица 2. Данные расчета геометрических характеристик гетерогенной лопастной решетки

	minQ	0,7Q	1Q	1,2Q	1,5Q
Q, м ³ /сут	8	10	15	18	23
H, м	53	51,5	46	41	29
b _{1,м}	0,021	0,023	0,028	0,03	0,035
b _{2,м}	0,006	0,005	0,008	0,009	0,002
β ₁ , в градусах	25,3	26,2	27,3	27,8	30,2
β ₂ , в градусах	18,4	19,1	19,9	20,3	22

По результатам расчета была построена первая цифровая модель центробежного колеса с решеткой переменного шага установки лопастей (рисунок 6).

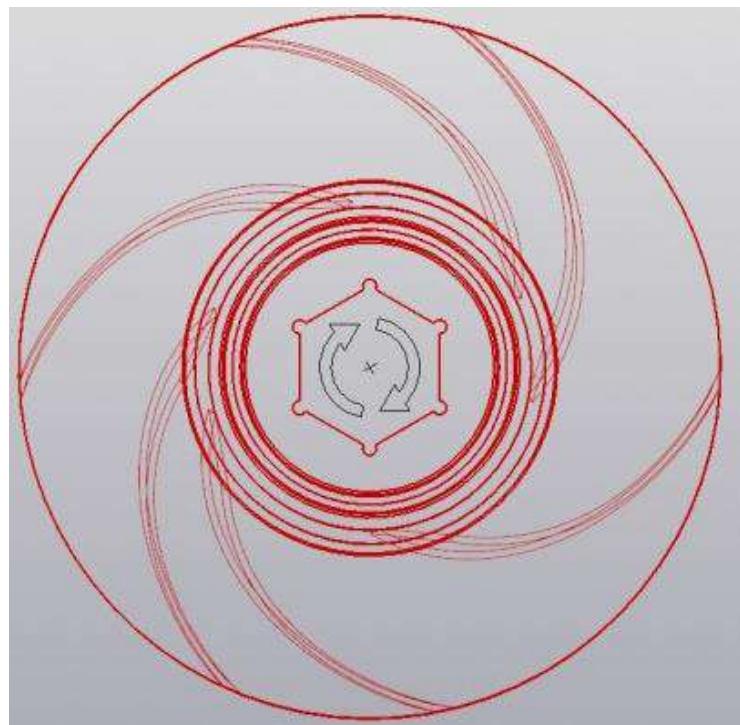


Рисунок 6. Цифровая модель колеса с гетерогенной решеткой

Выводы.

1. Проведенный комплекс научных исследований современных направлений модернизации динамических насосов позволяет сделать вывод, что наиболее перспективным направлением является замена гомогенной решетки лопастей на гетерогенную, что приведет к повышению интегрального гидравлического КПД.

2. Функция потери на удар квадратично зависит от величины окружной составляющей абсолютной скорости, увеличивая угол установки лопасти, а соответственно шаг, можно отметить стремление величины функции ударных потерь к минимуму.

3. На основе классических методик гидродинамического расчета параметров центробежных колес была разработана методика проектирования колес с гетерогенной лопастной решеткой, захватывающая расширение рабочей зоны насоса от 0,7Q_{ном} до 1,5 Q_{ном}.

4. На основе разработанных алгоритмов теоретического расчета создана блок схема и автоматизированный модуль для расчета параметров колеса с модифицированной гетерогенной лопастной решеткой.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Разработка, производство и эксплуатация турбо-, электронасосных агрегатов и систем на их основе // материалы V международной конференции. – Воронеж: Научная книга, 2009. – 356 с.
- [2] Ecopump.ru'2009 Эффективность и экологичность насосного оборудования: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. – Москва: Из-во РАПН, 2009 – 458 с
- [3] Айтотеева., Г.К. Перспективы совершенствования НЦС для систем поддержания пластового давления. [Текст] / Г.К. Айтотеева., А.Ниязбек., «Роль и место молодых ученых в реализации Стратегии «Казахстан-2050»: Тр. меж. Сатпаевских чтений, посвящ. 80-летию КазНТУ им. К.И.Сатпаева. - Алматы: КазНТУ, 2014. - Том 2. - С. 274-278
- [4] А. Швингдин, Проблемы и перспективы развития насосного оборудования для систем ППД. 2014г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/science/engineer/331847-problemy-i-perspektivy-razvitiya-nasosnogo-oborudovaniya-dlya-sistem-ppd>
- [5] Малюшенко, В.В Определение оптимального числа лопастей рабочих колёс питательных насосов. // Известия вузов. Сер. Энергетика. – 1964. – №4. – С. 58-65.
- [6] Патент на изобретение RU2452875C2 Рабочее колесо центробежного насоса. Вячеслав Алексеевич Рыженков (RU) Вячеслав Алексеевич Рыженков Александр Викторович Волков (RU) Александр Викторович Волков Александр Гаврилович Парыгин (RU) Александр Гаврилович Парыгин Георгий Петрович Хованов (RU) Георгий Петрович Хованов. Дата публикации: 10.06.2012
- [7] Йохэннинг, Ф. Полифениленсульфид – производство, применение, перспективы // Полимерные материалы. Изделия, оборудование, технологии. – 2012. – №12. – С. 40–44.
- [8] Патент на изобретение RU 2709404 C2 Рабочее колесо для центробежных насосов. Гроппо Ренато, Бальбо Фабио, Маттеацци Мариано, Обути Масаси, Сакихама Даи, Куроива Со. Дата публикации: 17.12.2019
- [9] Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»
- [10] Ржебаева, Н.К., Ржебаев Э.Е. Расчет и конструирование центробежных насосов [Текст] / Н.К. Ржебаева, Э.Е. Ржебаев // Учебное пособие. - Сумы: Изд-во СумГУ, 2009. -220с.
- [11] Ломакин, В.О. Разработка комплексного метода расчета проточных частей центробежных насосов с оптимизацией параметров [Текст]: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Специальность 05.04.13 - Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты. Москва - 2017
- [12] Кузнецов А.В., Панаотти С.С., Савельев А.И. Автоматизированное проектирование многоступенчатого центробежного насоса / Учебное пособие. – Калуга, 2013. – 170 с.

REFERENCES

- [1] Razrabortka, proizvodstvo i jekspluatacija turbo-, jelektronasosnyh agregatov i sistem na ih osnove // materialy V mezhdunarodnoj konferencii. – Voronezh: Nauchnaja kniga, 2009. – 356 s.
- [2] Ecopump.ru'2009 Jeffektivnost' i jekologichnost' nasosnogo oborudovaniya: Tezisy dokladov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. – Moskva: Iz-vo RAPN, 2009 – 458 s.
- [3] Ajtoreeva., G.K. Perspektivy sovershenstvovanija NCS dlja sistem podderzhaniija plastovogo davlenija. [Tekst] / G.K. Ajtoreeva., A.Nijazbek., «Rol' i mesto molodyh uchenyh v realizacii Strategii «Kazahstan-2050»: Tr. mezh. Satpaevskih chtenij, posvashhh. 80-letiju KazNTU im. K.I.Satpaeva. - Almaty: KazNTU, 2014. - Tom 2. - S. 274-278.
- [4] A. Shvindin, Problemy i perspektivy razvitiya nasosnogo oborudovaniya dlja sistem PPD. 2014g. [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://neftegaz.ru/science/engineer/331847-problemy-i-perspektivy-razvitiya-nasosnogo-oborudovaniya-dlya-sistem-ppd>
- [5] Maljushenko, V.V Opredelenie optimal'nogo chisla lopastej rabochih koljov pitatel'nyh nasosov. // Izvetija vuzov. Ser. Jenergetika. – 1964. – №4. – S. 58-65.
- [6] Patent na izobretenie RU2452875C2 Rabochee koleso centrobekhnogo nasosa. Vjacheslav Alekseevich Ryzhenkov (RU) Vjacheslav Alekseevich Ryzhenkov Aleksandr Viktorovich Volkov (RU) Aleksandr Viktorovich Volkov Aleksandr Gavrilovich Parjin (RU) Aleksandr Gavrilovich Parjin Georgij Petrovich Hovanov (RU) Georgij Petrovich Hovanov. Data publikacii: 10.06.2012.
- [7] Johjenning, F. Polifenilensul'fid – proizvodstvo, primenie, perspektivy // Polimernye materialy. Izdelija, oborudovanie, tehnologii. – 2012. – №12. – S. 40–44.

[8] Patent na izobretenie RU 2709404 C2 Rabochee koleso dlja centrobezhnyh nasosov. Groppe Renato, Bal'bo Fabio, Matteacci Mariano, Obuti Masasi, Sakihama Dai, Kuroiva So. Data publikacii: 17.12.2019.

[9] Annotacija proekta (PNIJeR), vypolnjaemogo v ramkah FCP «Issledovaniya i razrabotki po prioritetnym napravlenijam razvitiya nauchno-tehnologicheskogo kompleksa Rossii na 2014 – 2020 gody».

[10] Rzhebaeva, N.K., Rzhebaev Je.E. Raschet i konstruirovaniye centrobezhnyh nasosov [Tekst] / N.K. Rzhebaeva, Je.E. Rzhebaev // Uchebnoe posobie. - Sumy: Izd-vo SumGU, 2009. -220s.

[11] Lomakin, V.O. Razrabotka kompleksnogo metoda rascheta protochnyh chastej centrobezhnyh nasosov s optimizacijey parametrov [Tekst]: dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehnicheskikh nauk. Special'nost' 05.04.13 - Gidravlicheskie mashiny i gidropnevmoaggregaty. Moskva – 2017.

[12] Kuznecov A.V., Panaiotti S.S., Savel'ev A.I. Avtomatizirovannoe proektirovaniye mnogostupenchatogo centrobezhnogo nasosa / Uchebnoe posobie. — Kaluga, 2013. — 170 s.

М.Е. Исаметова*, Р.К. Нусіпәли, Г.У. Қалдан, О.А. Джасинбеков, Х.А. Ахмедов
Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық үертеу техникалық университеті, Алматы, Қазақстан
*e-mail: isametova69@mail.ru

ЖЕТИЛДІРЛІГЕН ҚАЛАҚТЫ ТОРЫ БАР ОРТАДАН ТЕПКІШ СОРҒЫНЫҢ ЖҰМЫСШЫ ДӨҢГЕЛЕГІН ЖОБАЛАУДЫ АВТОМАТТАНДЫРУ

Аннотация. Мақалада динамикалық сорғылардың энергия тиімділігін арттыру мәселелері қарастырылған және жұмысшы дөңгелектерді жетілдіру әдістемесі ұсынылған. Гидравликалық пайдалы әсер коэффициентін арттыру үшін дәстүрлі біртекті қалақшалы торын гетерогенді торға ауыстыру мүмкіндігі қарастырылды. Жетілдірліген нұсқасын қолданудың орындылығын негіздеу үшін ағынның донғалакқа соккысыз кіру теориясы келтірілген және талданған. Мақалада гетерогенді қалақшалы торы бар донғалақ параметрлерін есептеуді автоматтандыруға арналған есептеу алгоритмі және блок-схема келтірілген, онда бастапқы мәліметтер сорғысының арыны H , сорғысының берілуі Q , центрифугалық көп сатылы сорғы білігінің айналу жылдамдығы n болып табылады. Сондай-ақ, гетерогенді тордың пышактарының орналасу бұрыштары мен орнату бұрыштарын анықтау үшін берілісті өзгерту параметрі ұсынылды, ол беру аймагын кеңейту шартымен анықталады. Гетерогенді қалақшалы торының параметрлерін автоматтандырылған есептеу нәтижелері келтірілген.

Негізгі сөздер: ортадан тепкіш сорғы, жұмысшы дөңгелек, қалақты тор, жетілдіру, энергия тиімділік, арын, беру.

М.Е. Isametova*, R.K. Nussipali, G.U. Kaldan, O. A. Dzhasinbekov, H.A. Akhmedov
Kazakh national research technical university named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan
*e-mail: isametova69@mail.ru

AUTOMATION OF CENTRIFUGAL PUMP IMPELLER DESIGNING WITH MODIFIED VANE GRILLE

Abstract. The article deals with the problems of increasing the energy efficiency of dynamic pumps, and suggests a method for upgrading the impellers. To increase the hydraulic efficiency, the option of replacing the traditional homogeneous vane grille with a heterogeneous grille was considered. To justify the feasibility of using the modification option, the theory of shockless flow entry into the impeller is presented and analyzed. The article presents a calculation algorithm and a flowchart for automating the calculation of the parameters of a wheel with a heterogeneous vane grille, where the initial data were the pump head H , the pump supply Q , and the shaft speed of a centrifugal multi-stage pump n . A feed variation parameter was also proposed for determining the angles of occurrence and the angles of installation of the blades of a heterogeneous grille, which is determined from the condition of the expansion of the feed zone. The results of the automated calculation of the parameters of a heterogeneous vane lattice are presented.

Keywords: centrifugal pump, impeller, vane grating, modification, energy efficiency, head, feed.

¹Ш.Д.Ахметова, ¹Р.А.Козбагаров*, ¹Т.С.Әуезов, ²Д.Т.Алдеекева

¹Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан

²М.Тынышбаев атындағы Қазақ көлік және коммуникациялар академиясы, Алматы, Қазақстан

*e-mail: rystem_1968@mail.ru

БІР ШӨМІШТІ ЭКСКАВАТОР ЖҰМЫСЫНЫң ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСІ КЕЗІНДЕГІ ТУЫНДАЙТАН ҚАУІП ТҮРЛЕРІН ЗЕРТТЕУ

Анната. Жол - құрылым машиналарының конструкциялары қазіргі кезде операторды өндіріс ортасы жағынан да, техника жағынан да кері әсерден оқшаулау туралы мәселені шешпейді. Осыған байланысты қашықтан басқару технологиясын пайдалану кезінде операторды ықтимал қауіпті аумактан конструктивті өзгертуде немесе оны алып тастау мәселені шешудің тиімді әдісі болып табылады. Жұмыстас 2019-2020 жылдар аралығындағы статистикалық деректер көрсеткіштерінің негізінде жол - құрылым машиналарын пайдалануға байланысты қауіптерге сапалы баға берілді. Қаралып отырған оқиғалардың пайда болуы операторлардың технологиялық міндеттерді орындау кезінде әдейі, көбінесе басқарылмайтын қауіптерге жол беретіндігін қарастырылды. Ғылыми жұмыстарды зерттеу кезінде ЖҚМ операторының жұмыс орнын өндірістік жағдайлардың теріс факторларынан, қауіп-қатерлерден оқшаулау проблемасы өзекті болып қалатыны анықталды.

Негізгі сөздер: ғимарат, құрылым конструкциясы, экскаватор, жол-құрылым машиналары, залал, сынықтар.

Қазіргі заманғы жол-құрылым машиналарының (ЖҚМ) конструкциялары операторды өндіріс ортасы жағынан да, техника жағынан да тұындастын теріс әсерлерден оқшаулау туралы мәселені шеше алмайды. Қашықтықтан басқару технологиясын пайдалану кезінде жұмыс жүргізуінде ықтимал қауіпті аумактарынан операторды конструктивті түзету немесе алып тастау мәселенің шешудің тиімді тәсілі болып табылады. Осыған байланысты, ЖҚМ қашықтықтан басқарудың қазіргі заманғы электрондық жүйелерін енгізу саласындағы зерттеулер актуалды болып табылады және орындалатын технологиялық процестердің өнімділігін, қауіпсіздігін арттыруға және сапасын жақсартуға мүмкіндік береді [1,2,3].

Қазіргі уақытта ғимараттарды демонтаждаумен немесе үйінділерді тазалаумен байланысты жұмыстарда құрылым конструкциясын қолдану айтарлықтай кең тиімділікпен шартталады, бірақ бұл ретте орындалатын технологиялық операциялар мен жұмыстардың қауіпсіздігі мен сапасына соңына дейін кепілдік беру мүмкін емес [4].

Ғимараттардың, құрылымтардың, жекелеген конструктивтік элементтердің бұзылуы олардың шектік физикалық тозуымен (60% - дан асатын) және аумакты босату қажеттілігімен түсіндіріледі. Құрылым конструкциясының үйінділері жарылыштардың зақымдаушы факторларының әсерінен, жер сілкіністерінің және т.б., сондай-ақ құрылымдың мақсатты бұзылуарының әсерінен пайда болады.

Ғимараттарды бөлшектеудің технологиялық процесі, әдетте, ғимараттың құрылымдық элементтерін алып тастау, құрылым алаңын босату және тазарту, содан кейін жарамсыз құрылымдарды, материалдарды алып тастау сияқты жұмыстар жиынтығын білдіреді. Ғимараттарды бөлшектеу толық немесе ішінәра болуы мүмкін. Ғимараттың түріне, конструкциялық шешімдеріне, пайдаланылған материалдар мен конструкцияларға, сондай-ақ тиісті техниканың болуына қарай бөлшектеудің 3 тәсілін бөліп көрсетуге болады (1-кесте).

Бөлшектеу басталғанға дейін ғимараттың және оның конструкцияларының нақты жай-күйін, мөлшерін, массасын, конструкцияларды бір-бірімен қосу тәсілдерін, жөндеу - құрылым жұмыстарын жүргізу тәсілін таңдауға әсер етуі мүмкін барлық басқа факторларды (жарылым жұмыстары, ғимараттардың құлауы, гидрожару тәсілі, жылу тәсілі, электргидравликалық тәсілі, гидрожеректендіру) анықтау мақсатында олардың техникалық жай-күйіне тексеру

жүргізіледі. Конструкцияларды бөлшектеу және бұзу бойынша жұмыстар әзірленген ЖӘЖкәне технологиялық карталармен қатаң сәйкестікте орындалуы тиіс [6].

1-кесте. Құрылыш техникасын пайдалану кезінде конструкцияларды бұзу тәсілдері

1	Бетонды құрылыштарды топырақ деңгейімен бұзу	<p>Көп қабатты ғимараттарды бұзу үшін жұмыс жабдықтарының кеңейтілген базасы бар жойғыш машина қолданылады.</p> <p>Негізгі қауіптер:</p> <ul style="list-style-type: none"> - жұмыстарды орындау кезінде жұмыс алаңының нашар көріну; - құрылыш шаңының болуы; - құрылыш конструкциясының кесілген элементтерінің құлауы; - құрылыш конструкциясының бос немесе әлсіреген элементтерінің болуы ғимарат элементтерінің құлауына әкелуімүмкін.
2	Ғимаратты ішінен бұзу	<p>Егер ғимаратты жер деңгейімен бұзу жұмыстарын жүргізу үшін жеткілікті орын болмаса немесе ғимарат тым жоғары болса (б қабаттан жоғары) және бұзуға арналған аспалы жабдықтың ұзындығы жеткіліксіз болса, бұзушы машина бұзуға тағайындалған ғимараттың жоғарғы қабатына орнатылады. Бұзу жұмыстары жоғарғы қабаттан басталып, төмен қарай жылжиды.</p> <p>Негізгі қауіптер:</p> <ul style="list-style-type: none"> - жұмыстарды орындау кезінде нашар көріну; - құрылыш шаңының болуы; - құрылыш конструкциясының бос немесе әлсіреген элементтерінің болуы машинаның істен шығуына әкелуімүмкін.
3	Үйінділерді бөлшектеу	<p>Кирадың әртүрлі түрлерінің салдарынан пайда болған қоқыстар арнайы техниканың көмегімен бөлшектеледі. Ғимараттардың әр түрлі типтерінің үйінділері параметрлері бойынша сипатталады: көлемдік-массалық сипаттамасы; үйіндінің құрылымы; құрылыш элементтерінің құрамы.</p> <p>Негізгі қауіптер:</p> <ul style="list-style-type: none"> - жұмысты орындау кезінде нашар көріну; - құрылыш шаңының болуы; - құрылыш конструкциясының кесілген элементтерінің құлауы; - құрылыш конструкциясының бос немесе әлсіреген элементтерінің болуы үйінділердің құлауына әкелуі мүмкін.

Қауіп-қатерлерді бағалау үшін барлық ықтимал қауіпті жағдайлар мен оқиғаларды, олардың сипаттамаларын және таңдалған техникалық процеске байланысты сақтық шараларын сәйкестендіреміз (2-кесте).

2-кесте. Құрылыш техникасымен конструкцияларды бұзу кезіндегі қауінтерді сәйкестендіру

№	Қауіп факторлары	Себебі	Сипаттамасы	
1	2	3		
1. Құрылыш конструкцияларының құлауы	1) Қауіпті аймаққа кіру қажеттілігі; 2) Өнімнің сенімсіздігі; 3) Жұмысты білікті емес персоналдың орындауы; 4) Эргономикалық факторлар.	<p>- Сынықтардың құлау қашықтығы дейін болуы мүмкін (мұндағы Н-ғимараттың биіктігі) [6]: $L = \frac{H}{3} / \frac{H}{4}, \text{м.}$</p> <ul style="list-style-type: none"> - Қауіпті жағдайдың дамуы: - жылдам/лезде - Шешім қабылдау: белгілі бір жағдайларда мүмкін. 		
<i>Сақтық шаралары</i>			<i>Бұзу жұмыстары басталар алдында және жұмыс кезінде құрылыштар мен олардың элементтері беріктікке тексерілуі тиіс. Егер осыған қажеттілік түүндесе, жұмыс барысын бақылайтын мамандар тиісті шаралар қабылдайды: тіректердің көмегімен нығайту, топырақпен қайта толтыру, бағанамен бекіту.</i>	
2. Сынықтардың құлағаннан кейін шашырауы	1) Қауіпті аймаққа кіру қажеттілігі; 2) Өнімнің сенімсіздігі; 3) Жұмысты біліктілігі жоқ персоналдың орындауы.	<p>- Сынықтардың ұшу қашықтығы (мұндағы Н-ғимараттың биіктігі): $L = \frac{H}{3}, \text{м.}$ бастап</p> <ul style="list-style-type: none"> - Қауіпті жағдайдың дамуы: жылдам/лезде. - Шешім қабылдау: белгілі бір жағдайларда мүмкін. 		
<i>Сақтық шаралары</i>			<i>Қауіпті аймақ шекарасында уақытша қоршаулармен қауінсіздік белгілерін, сондай-ақ қараңғы уақытта белгі беру жарығын орнату. Уақытша қоршауларды орнату мүмкін болмagan жағдайдың барлық қауіпті аймақтың бойына қорғаныс торлары немесе конструкциялармен материалдардың қорғанысында қауінсіз аймаққа түсін болдырмай үшін қалқандар орнатылады.</i>	
3. Шантүзілу	Бұзу құрылыш өндірісіндегі жұмыстарды ұйымдастыру және орындау ҚНжЕ 12-03, ҚЕ 10-382 және басқа да нормативтік құқықтық актілердің талаптарын сақтай отырып жүзеге асырылуы тиіс. Мысал: 133-06 ТК Реконструкцияланатын гимараттардың ағаш арқалықтары бойынша аражабындарды демонтаждауға арналған технологиялық карта.	<p>Фрикционлық материалдарының үйкелісі өзгереді, арналар бітеп, ауа ағындарының төмендеуі байқалады, салқыннату және жедету нашарлайды, қыздырылған беттерге жабысу жылу беруді азайтады, жоғары қыздыру орындарында ол өрт ошағына айналуы мүмкін.</p>		
1) қауіпті аймаққа кіру қажеттілігі;				

2 кестенің жалғасы

1	2	3
<i>Сақтық шаралары</i>	<i>Шаңың өдөүр пайды болуы мен байланысты демонтаждау жұмыстарын жүргізу кезінде (конструкцияларды бөлшектеу және бұзу, сусыналы материалдарды қолмен тасымалдау және түсіру қажет. б.) сондай-ақ зиянды шығарындыларды рұқсат етілген деңгейге дейін азайту өткін болған авариялық жағдайлардағы қысқа мерзімді жұмыстар кезінде жеке қорғаныс құралдарын пайдалану және жұмыс аймағындағы ауа құрамын қалыпта келтіру бойынша шұғыл шаралар қабылдау қажет</i>	
4. Механикалық қауіп	Машинаның шығып тұрған, жылжымалы бөліктері мен персоналдың жаракаттануы. Машинаның құрылымының закымдануынан кабина элементтерімен алынған жаракаттар. Электр жабдығының бөліктеріне; гидравликалық жүйеге; жетек және қозғалтыш жүйелерінің элементтеріне; ток жүргізу бөліктеріне жанасу немесе байланысу секілді закымданулар нәтижесінде оператордың өміріне ықтимал қауіп және қатер төнеді.	Механикалық қауіптер қозғалатын, құлайтын, айналатын объектілерден (техника, жабдық, құрылымы конструкциясының элементтері) туындаиды. Ткандар мен мүшелердің электр тогы-мен жергілікті закымдануы. Машина-ның қыздырылған элементтерімен және жұмыс сұйықтықтарымен байланыс. Жұмыс сұйықтықтарының, пластикалық материалдардың және т.б. жану ықтималдығы, электр сымдарының тұйықталуы. Химиялық қауіп – экскаватордың жұмыс сұйықтықтарымен байланыс. - Қауіпті жағдайдың дамуы: тез / лезде. - Шешім қабылдау: белгілі бір жағдайларда мүмкін.
5. Электртогының соғу қаупі		
6. Термиялық қауіп		
7. Өрт қауіптілігі		
8. Химиялық қауіп		
9. Шу, діріл		
<i>Сақтық шаралары</i>	<i>МЕМСТ 12.3.033-84. Стандартты халық шаруашылығының барлық салаларында экскаваторлармен басқада құрылым машиналарын (бұдан әрі машиналар) пайдалану (техникалық қызмет көрсету, ағымдағы жөндеу, тасымалдау, сақтау) кезіндегі қауіпсіздіктің жалпы талаптарын белгілейді</i>	

Қауіптілік факторы бойынша ықтимал аумақтық қауіп-қатерді бөлуге есептеу жүргіземіз: ғимаратты демонтаждау кезінде құрылымының сыйықтарының құлауы және шашырауы. Есептеу әдістемесі ЖК 03-418-01 құжатында баяндалған [7].

Есептеу міндетті экскаватордың көмегімен құрылышты бұзу кезінде қауіп факторлары мен олардың параметрлерін анықтау болып табылады.

Басшылық құжатқа [7] сәйкес осы жұмыста мынадай жүргізу әдістері бойынша талдау жасалды: авария қаупін талдау; авария қаупін бағалау; авария қауіпі; техникалық қауіп; ықтимал аумақтық қауіп. Ғимараттар мен құрылыштарды бұзу кезінде қауіпті аймақтағы адамдарды закымдау қаупі туындаиды. Сондықтан демонтаждау жұмыстарын жүргізу қауіпсіздігінің маңызды факторы белгілі бір құрылымды таңдалған жұмыс әдісімен бұзу кезінде адамдар немесе айналадағы құрылымдар үшін қауіпсіз болатын қашықтықты белгілеу болып табылады. Бұл қашықтықтар қауіпсіз және олардың мәндері қауіпсіздік ережелерімен реттелгеннен кем болмауы керек.

Ғимаратты демонтаждау. Ғимаратты демонтаждау кезінде құрылым конструкциясы сыйықтарының құлау және шашырау қатерін аумақтық бөлуді бағалау үшін бастапқыдеректер:

1) Ғимараттың сипаттамасы. Сыртқы қоршау құрылымдары - қалындығы 660-770 мм кірпіш қабырғалар. Қабырғаларда каналдар, тауашалар бар. Ішкі қоршау құрылымдары – кірпіш қабырғалар, ағаш ара қабырғалар

Қабат аралық жабындар 1500-1530 мм қадамдық трамвай рельстерінен жасалған металл арқалықтар бойынша ағаш типті. Терезелік толтыру ағаштан, жалпы қорапта бөлек түптелген. Ғимараттың астындағы іргетастар таспалы. Топырақ деңгейінен биіктігі $H = 10,2$ м.

Пайдаланылатын экскаватордың жалпы габариттік сипаттамалары (komatsu PC-220 негізіндеңі прототип) [5] (3-кесте):

3-кесте. Экскаватордың габариттік сипаттамалары

№, р/н	Өлшемдер	Көрсеткіштер
1	Қолшаның ұзындығы, мм	2220
2	Габариттік ұзындығы, мм	11290
3	Тірек беті бойынша ұзындығы, мм	6980
4	Габариттік биіктігі (жебенің жоғарғы жағына дейін), мм	3400
5	Габариттік ені, мм	3190
6	Габариттік биіктігі (кабинаның жоғарғы жағына дейін), мм	3130
7	Жол жарығы, керісалмақ, мм	1185
8	Жол жарығы (минималды), мм	500
9	Машина кабинасының биіктігі, мм	2580
10	Машина кабинасының ені, мм	2995

Пайдаланылатын экскаватордың бекітілген габариттік сипаттамаларына сәйкес қарастырылатын ғимаратты демонтаждау жұмыстарын тиімді орындау үшін машинаның кирайтын ғимараттан арақашықтығын белгілейміз- $L_M = 6,6$ (м);

12-03-2001ҚН м Е сәйкес:

Сынықтардың құлау қашықтығы $L_1; L_2$:

$$L_1 = \frac{H}{4}, \text{ м};$$

$$L_1 = \frac{10,2}{4} = 2,55 \text{ м};$$

$$L_2 = \frac{H}{3}, \text{ м};$$

$$L_2 = \frac{10,2}{3} = 3,4 \text{ м.}$$

Сынықтардың шашырау қашықтығы L_3 :

$$L_3 = \frac{H}{2}, \text{ м} \quad \text{бастап};$$

$$L_3 = \frac{10,2}{2} = 5,1 \text{ м} \quad \text{бастап.}$$

Қираған ғимарат сынықтарының құлауы мен байланысты қауіптерді сапалы бағалау үшін қаралатын оқиғаның туындау ықтималдығы 2019-2020 жылдар аралығындағы статистикалық деректер негізінде белгіленген.

L_M – жұмыстарды орындау аумағындағы жұмыс машинасының ағымдағы жағдайы, 6,6 м;

H – демонтаждалатын ғимараттың биіктігі, 10,2 м.

Нәтижесінде сынықтардың құлауына байланысты ықтимал қауіптерді бөлу объектінің және іргелес аумақтың құрылым алаңының әрбір нүктесі үшін алғынған залал мәндерімен сипатталады (1 - сурет):

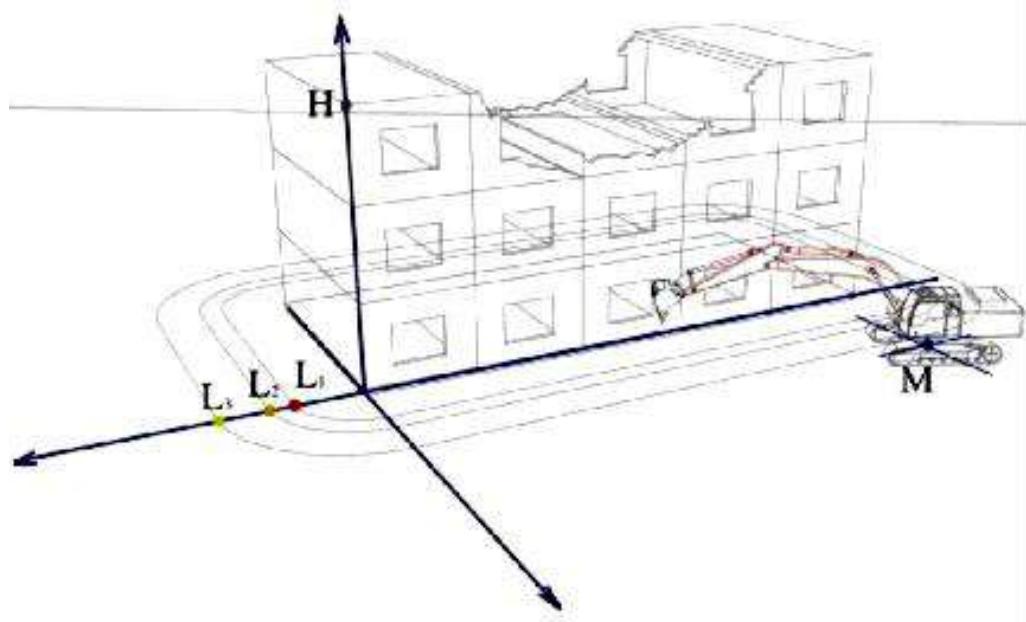
А - қауіптіліктің жоғары деңгейі, $L_1=2,55$ м;

Б - қауіптіліктің орташа деңгейі, $L_2=3,4$ м;

В-қауіптіліктің төмен деңгейі, $L_3=5,1$ м.

4-кесте. Қирайтын ғимарат сынықтарының құлауымен байланысты тәуекелдер сипаттамаларын бағалау

Оқиға нұсқасы	Сынықтарының шамамен түсү қашықтығы L_i , м	Зиян түрлері				Оқиға саны
		Оператордың деңсаулығына зиян келу	Оператордың қаза болуы	ЖКМ закымдануы	ЖКМ істен шығуы (жойылуы)	
Құрылым конструкциясының сынықтарының құлауы	Ұсақ 0,05 т дейін.	3,4	-/+	-	-/+	- 2
	Орта 0,05-0,1 т -ға дейін..	3,4	-/+	-/+	-/+	- 4
	Ауыр 0,1 т жоғары.	2,55	-/+	-/+	-/+	-/+ 3
Сынықтардың құлағаннан кейін шашырауы	Ұсақ 0,05 т дейін.	5,1 -ден	-/+	-	-/+	- 2



1-сурет. Өндірістік операциялар аумағы бойынша туындастын ықтимал қауіптерді бөлу

Мемқалтетхбакылау қолданатын әдістеме бойынша құрылыштарды топырақ деңгейінен бұзыу кезіндегі қауіптіліктің орындалған талдауы технологиялық міндеттерді орындау кезінде құрылым жол машиналарын пайдалану көбінесе қасақана, басқарылмайтын қауіптермен байланысты екенін дәлелдейді.

Қорытынды: ЖҚМ конструкциялық функционалдығы стандартты технологиялық схемалар бойынша жұмыспен шектелмеуге мүмкіндік беретіні және қолданудың кең спектрі бар екені анықталды. ЖҚМ құрылымы және жол салаларында тікелей мақсаты бойынша, сондай-ақ қауіпті жағдайлардың салдарын жоюдың қосымша құралдары ретінде пайдаланылады. ЖҚМ қолдану аясын кеңейту технологиялық операцияларды орындаудың жоғары деңгейімен ұштастыра отырып, оператордың қауіпсіз еңбек жағдайларын қамтамасыз ету нысандарын қайта қарауды және толықтыруды талап етеді.

ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Добронравов С.С. Строительные машины и оборудование. Москва: Высшая школа, 1991. С. 182.
- [2] Рейш А.К. Повышение производительности одноковшовых экскаваторов. М.: Стройиздат, 1983.
- [3] Nguyen Hong Quang. Robust low level control of robotic excavation: PhD dissertation / Nguyen Hong Quang. Australian Centre for Field Robotics The University of Sydney, 2000. -234 p.
- [4] Афанасьев А.А. Возвведение зданий и сооружений из монолитного железобетона/А.А. Афанасьев.: Учебник для вузов. – М.: Выssh. школа, 1990. – 334 с.
- [5] Komatsu PC220// Komatsu URL: http://www.komatsu.ru/model.xgi?&category_id=23&category_id=30&model_id=14590.
- [6] СН и П 12-03-200. Безопасность труда в строительстве.
- [7] Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов, утвержденном постановлением Госгортехнадзора Россииот 10.07.01 №30 и введенном в действие с 01.09.01 г.

REFERENCES

- [1] Dobronravov S.S. Stroitel'nye mashiny i oborudovanie. Moskva: Vysshaja shkola, 1991. S. 182.
- [2] Rejsh A.K. Povyshenie proizvoditel'nosti odnokovshovyh jekskavatorov. M.: Strojizdat, 1983.
- [3] Nguyen Hong Quang. Robust low level control of robotic excavation: PhD dissertation / Nguyen Hong Quang. Australian Centre for Field Robotics The University of Sydney, 2000. -234 p.
- [4] Afanas'ev A.A. Vozvedenie zdanij i sooruzhenij iz monolitnogo zhelezobetona/A.A. Afanas'ev.: Uchebnik dlja vuzov. – M.: Vyssh. shkola, 1990. – 334 s.
- [5] Komatsu PC220// Komatsu URL: http://www.komatsu.ru/model.xgi?&category_id=23&category_id=30&model_id=14590.
- [6] SN i P 12-03-200. Bezopasnost' truda v stroitel'stve.
- [7] Metodicheskie ukazanija po provedeniju analiza riska opasnyh proizvodstvennyh ob#ektorov, utverzhdonnom postanovleniem Gosgortehnadzora Rossiot 10.07.01 №30 i vvedennom v dejstvie s 01.09.01 g.

1Ш.Д.Ахметова, 1Р.А.Козбагаров*, 1Т.С.Әуезов, 2Д.Т.Алдеекева

¹Satbayev University, Алматы, Казахстан

²Казахская академия транспорта и коммуникации им. М.Тынышпаева, Алматы, Казахстан

***e-mail: rystem_1968@mail.ru**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИДОВ ОПАСНОСТЕЙ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА

Аннотация. Конструкции современных дорожно-строительных машин (ДСМ) не разрешают вопроса об изолировании оператора от отрицательного воздействия как стороны среды производства, так и со стороны техники. Конструктивная доработка или исключение оператора из потенциально опасной территории проведения работ при использовании технологии дистанционного управления является эффективным способом решения проблемы. В связи с этим, в работе приведены статистические данные с периода 2019-2020 г. и дана качественная оценка рисков, связанных с эксплуатацией ДСМ. Возникновение рассматриваемых событий показывает допущение операторами преднамеренных, зачастую неуправляемых рисков при выполнении технологических задач. При исследовании научных работ установлено, что проблема изоляции рабочего места оператора ДСМ от негативных факторов производственных условий остается актуальной.

Ключевые слова: здания, строительные конструкции, экскаватор, дорожно-строительные машины, ущерб, завалы.

¹S.D. Akhmetova, ¹R.A. Kozbagarov*, ¹T.S. Auezov, ²D.T. Aldekeyeva

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

² Kazakh Academy of transport and communications named after M.Tynyshpaev, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: ryctem_1968@mail.ru

INVESTIGATION OF THE TYPES OF HAZARDS IN THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF A SINGLE-BUCKET EXCAVATOR

Abstract. The designs of modern road construction machines do not solve the problem of isolating the operator from the negative impact of both the production environment and the equipment. Constructive modification or exclusion of the operator from a potentially dangerous area of work when using remote control technology is an effective way to solve the problem. In this regard, the paper presents statistical data from the period 2019-2020 and provides a qualitative assessment of the risks associated with the operation of road construction machines. The occurrence of the events under consideration shows the assumption by operators of deliberate, often unmanageable risks when performing technological tasks. The study of scientific works has established that the problem of isolating the workplace of the operator of road construction machines from the negative factors of production conditions remains relevant.

Keywords: buildings, building structures, excavator, road construction machines, damage, rubble.

Г.Ш. Яр-Мухамедова, Г.Т. Джаманбаева, Б.Ж. Бисембаев

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

e-mail: gulsara.jamanbayeva@mail.ru, gulmira-alma-ata@mail.ru

СОЗДАНИЕ МЕТАПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ ПЕРОВСКИТОВ

Аннотация. Последние разработки в области физики высокониндексных резонансных диэлектрических наноструктур предлагают альтернативные механизмы управления субволновым светом, обусловленные резонансами Ми с сильным магнитным откликом, которые могут быть использованы для создания новых оптических метаповерхностей. Здесь мы демонстрируем метаповерхности на основе наноимпринтных перовскитных пленок, оптимизированных за счет легирования органической катионной части перовскитов. Мы обнаружили, что такие метаповерхности могут демонстрировать значительное усиление как линейной, так и нелинейной фотолюминесценции (до 70 раз) в сочетании с повышенной стабильностью. Наши результаты предлагают рентабельный подход, основанный на литографии наноимпринтов и объединенный с простыми химическими реакциями для создания нового поколения функциональных метаповерхностей, которые могут проложить путь к высокоеффективным планарным оптоэлектронным метаустройствам.

Ключевые слова: метаповерхность, перовскиты, фотолюминесценция, резонансы Ми, наноимпринтинг.

Введение. Метаповерхности возникли как двумерные плоские структуры, состоящие из метаатомов, которые обладают особыми электромагнитными свойствами, которые не встречаются в природе [1,2]. Ранние реализации таких планарных структур были основаны на благородных металлах и плазмонике. Однако высокие омические потери и нагрев плазмонных структур побудили многих исследователей искать альтернативные материалы [3]. Совсем недавно исследование полностью диэлектрических резонансных нанофотонных структур и метаповерхностей привлекло большое внимание, поскольку они основаны на диэлектрических метаатомах с высоким показателем преломления, которые могут обеспечить множество уникальных свойств для связи света с электрическим и магнитным резонансами Ми в видимом и ближний ИК-диапазон [4].

С другой стороны, гибридные галогенидные перовскиты недавно появились как многообещающий класс материалов для усовершенствованных оптоэлектронных устройств из-за многих преимуществ сверхдлинной диффузионной длины носителей, сильно подавленной рекомбинации носителей, низкого улавливания дефектов и примесей и высокой подвижности носителей [5,6]. Что еще более важно, гибридные органо-неорганические перовскиты могут предоставить альтернативу для рентабельного производства и системной интеграции, а также являются многообещающими для светоизлучающих диодов, усилителей или лазеров [7, 8]. В отличие от многих активных сред на основе полупроводников, настройка спектров фотолюминесценции (ФЛ) перовскитов не требует дорогостоящих методов и требует только простых химических реакций и надлежащих методов обработки пленки, таких как разработка растворителей или горячее литье.

В этой статье мы предлагаем и развиваем новую концепцию создания функциональных метаповерхностей путем создания рисунка на галогенидных перовскитах с помощью технологии наноимпринтинга, чтобы улучшить их резонансные свойства, как схематично показано на рис. 1. Мы используем экономичную и крупномасштабную литографию с наноимпринтом, последовательное тиснение методом горячего прессования для нанесения наноразмерного перовскита, пленки с покрытием, как недавно было продемонстрировано для других приложений [9]. Что еще более важно, мы наносим оптимизированный состав тонких пленок перовскита путем легирования органической катионной части перовскитов, разработка состава тройного сплава смешанного

катиона в $\text{Cs}_{0.5}(\text{MA}_{0.17}\text{FA}_{0.83})_{0.95}\text{Pb}(\text{I}_{0.83}\text{Br}_{0.17})_3$ демонстрируя рекордные фотоэлектрические характеристики и повышенную стабильность. [10]. Как мы продемонстрируем ниже, этот подход использования тройного катионного сплава для перовскитной пленки, позволяет избежать деградацииnanoимпринтных метаповерхностей и добиться рекордного увеличения ФЛ. В результате мы предлагаем двухэтапный подход для достижения высокоэффективных излучающих ультратонких планарных структур, которых эффективность излучения повышается сначала за счет конструкции из тонкопленочного материала (на атомном уровне), а затем за счет формирования пленок (на уровне метаатомов). Наши результаты открывают путь к новым экономичным полностью диэлектрическим активным планарным метаустройствам.

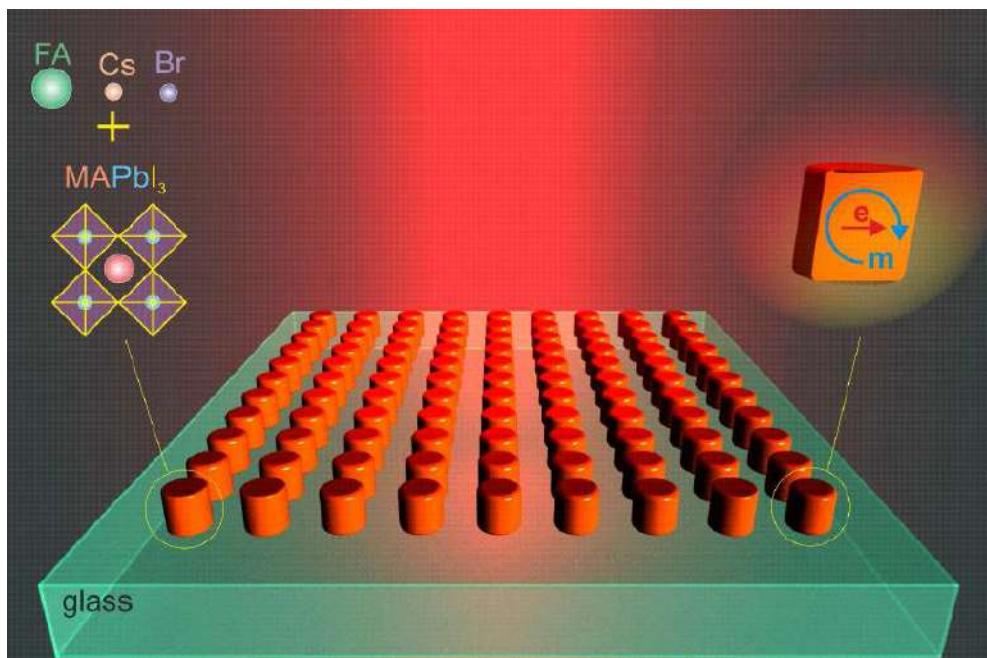


Рисунок 1. Общая концепция. Метаповерхности с улучшенными функциональными возможностями, достижимыми за счет структурирования перовскитных пленок, оптимизируются путем легирования органических катионов для повышения стабильности

Характеристика метаповерхностей перовскита. Для нанесения тонких пленок перовскита используется модифицированный метод инженерии растворителей [11]. Этот метод использует смесь растворителей перовскита для нанесения покрытия центрифугированием, а затем следует капельное нанесение толуола во время центрифугирования, которое позволяет формировать однородный слой перовскита после термического отжига. Для наших метаповерхностей мы используем плавленый кварц для подложек толщиной 0,5 мм. После центрифугирования и капания толуола образец отжигают в течение 10 мин при 100 °C, который впоследствии вытесняет растворители и образует перовскитную пленку толщиной около 200 нм.

Образцы используются позже для процесса nanoимпринтинга [9], как показано на рис. 2. Мы используем две разные силиконовые формы для сравнения свойств двух различных типов отпечатанных метаповерхностей. Наноструктуры и нанополоски сначала обрабатываются антиадгезионным монослоем из 1Н, 1Н, 2Н, 2Н перфтордецилтрихлорсилана. Затем формы помещают на тонкую пленку перовскита в разные области в одном процессе, чтобы обеспечить одинаковые условия для всех форм. Наноимпринтинг проводится 20 мин при 100 °C и давление 7 МПа. Также готовятся контрольные образцы с пленками неструктурного перовскита, нанесенными методом центрифугирования.

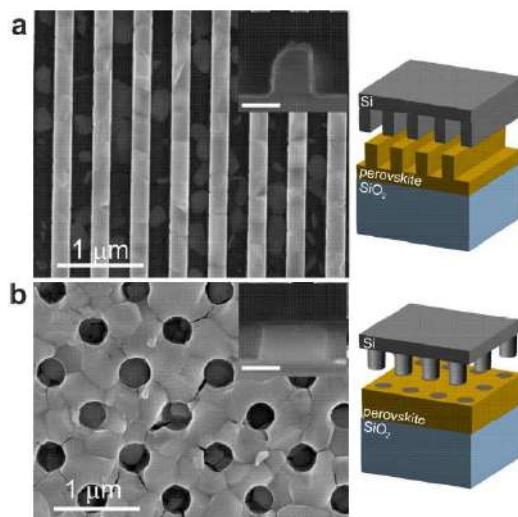


Рисунок 2. Наноимпринтные метаповерхности перовскита. Изображения на растровом электронном микроскопе структуры нанополос (а) и нанотверстий (б). На вставках показаны поперечные сечения метаповерхностей (шага 300 нм) и пресс-форм, использованных при изготовлении

В более ранних исследованиях перовскитовых фотоприемников [9] наноимпринтинг классических MAPbI_3 , которые, как известно, являются не очень устойчивым материалом в окружающей атмосфере. В самом деле точно установлено, что MAPbI_3 особенно легко разлагается под воздействием тепла, влажности, света, металлических электродов, а не ITO, Cu и Au. Однако смешивание катионов FA/Cs и анионов Br/Cl приводит к стабилизации пленок. ABX_3 структура перовскитов позволяет замещать катион место A и галогенид-анион место X, сохраняя при этом катион место B как Pb. Совсем недавно цезий (Cs), катионы формамидия (FA) и этиламмония (EA) были заменены вместо катиона метиламмония (MA), чтобы сформировать более стабильные структуры и настроить ширину запрещенной зоны [12-19]. Поэтому в настоящей работе мы применяем процедуру наноимпринтинга к тройным катионным сплавам перовскитов с целью изучения эффектов усиления ФЛ в наноимпринтных метаповерхностях наиболее стабильных составов со смешанными катионами Cs, MA и FA. Смешивание этих ионов с образованием сплавов в общей форме $\text{Cs}_\alpha\text{FA}_\beta\text{MA}_\gamma\text{Pb}(\text{I}_x\text{Br}_y)_3$, где $\alpha+\beta+\gamma=1=x+y$, позволяет получить наиболее стабильную композицию, а также добиться настраиваемой ширины запрещенной зоны. Здесь мы сосредоточены на одной стабильной композиции: $\text{Cs}_{0,05}\text{FA}_{0,82}\text{MA}_{0,13}\text{Pb}(\text{I}_{0,87}\text{Br}_{0,13})_3$ с излучением ФЛ в диапазоне 770 нм. Сравниваем стабильность нашего сплава с MAPbI_3 при эксплуатации в аналогичных условиях в течение 3000 ч и выявить сильную деградацию MAPbI_3 , тогда как $\text{Cs}_{0,05}\text{FA}_{0,82}\text{MA}_{0,13}\text{Pb}(\text{I}_{0,87}\text{Br}_{0,13})_3$ хорошо сохраняет превосходные свойства ФЛ. Морфология наноимпринтных пленок исследована с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и представлена на рис. 2 (а, б). Хорошо выраженные нанополоски перовскита [рис. 2 (а)] и наноотверстия [рис. 2 (б)] структуры являются отрицательными копиями силиконовых форм. Наноотверстия и нанополосы имеют диаметр и период рисунка примерно 300 нм и 600 нм соответственно. Поперечное сечение СЭМ показывает глубину 315 нм при почти полном отсутствии остаточного слоя для наноотверстий и глубину структуры 300 нм и глубину остаточного слоя 85 нм для нанополос. Эти результаты демонстрируют, что, хотя перовскит является ионным твердым телом и не имеет свойств стеклования, как полимеры, он может быть успешно сформирован методами наноимпринтинга, будучи достаточно мягким, чтобы деформироваться и заполнять полости формы под воздействием тепла и давления. Улучшение кристалличности и качества поверхности за счет наноимпринтинга также выявляется с помощью сканирующей электронной микроскопии. Это важно для транспорта носителей, времени жизни фотолюминесценции и эффективности солнечных элементов [14,15].

Оптические свойства. Спектры отражения для пленок перовскита без рисунка и с рисунком показывают значительные модуляции для структур с наноотверстиями и нанополосками [см. рис. 3 (а, б)]. Более конкретно, мы наблюдаем пики около 1000-1100 нм, которые соответствуют возбуждению оптических резонансов. При пропускании оптические изображения перовскитов показывают разные яркие цвета [рис. 3 (с)], что свидетельствует о разумной однородности.

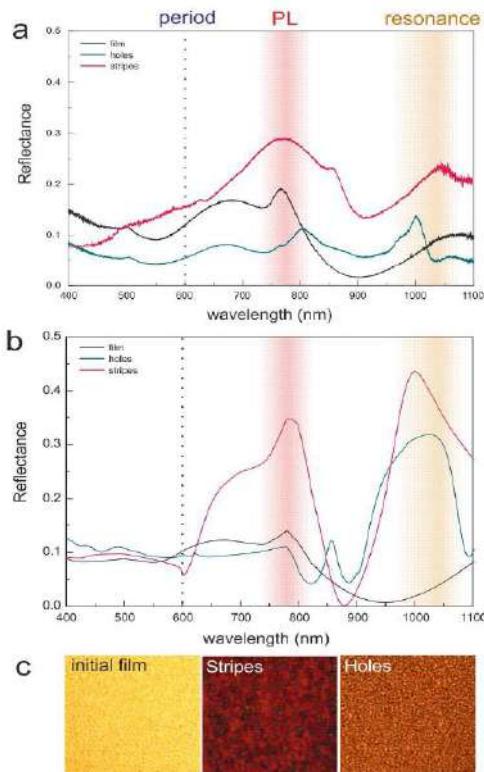


Рисунок 3. Отражательные и пропускающие свойства метаповерхностей перовскита.
 (а) экспериментальные данные и (б) результаты численных расчетов спектров отражения пленок перовскита (черная кривая) и метаповерхностей, созданных наноотверстиями (зеленая кривая) и нанополосками (розовая кривая). (с) Свойства пропускания: оптические изображения поверхностей перовскитов с различным рисунком

Моделирование ближних полей на разных частотах показывает резонансное поведение метаповерхностей на основе нанополос в ближнем ИК-диапазоне частот, тогда как в области высоких потерь ($\lambda < 800$ нм) резонансы не проявляются из-за сильного затухания.

Повышение фотолюминесценции. Помимо высокого показателя преломления перовскита, этот материал демонстрирует высокоэффективную ФЛ на 770 нм (1,6 эВ) с полной шириной на полувысоте около 40 нм [рис. 4 (а)]. Следовательно, можно усилить ФЛ за счет возбуждения оптических мод в излучающем материале. Можно выделить две конкретные области: линейное фотовозбуждение (поглощается один фотон, т. е. высокие оптические потери на частоте накачки) и нелинейное фотовозбуждение (многофотонное поглощение, т.е. низкие оптические потери на частоте накачки).

В экспериментах по линейному фотовозбуждению перовскиты с наноимпринтом демонстрируют лучшие свойства спонтанного излучения с увеличением до 2 раз для нанополос при определенной поляризации и до 8 раз для наноотверстий по сравнению с тонкими пленками с наноимпринтом [Рис. 4 (б)]. Как показано на рис. 4 (а), эти факторы усиления могут быть частично объяснены увеличением поглощения света из-за нанозначения. Однако увеличение количества поглощенных фотонов не может полностью описать усиление

ФЛ, что требует дополнительного анализа зависимости скорости излучения от локальной плотности состояний (LDOS).

Спад ФЛ регистрируется с помощью метода коррелированного по времени однофотонного счета (подробнее см. Методы). Измеренное среднее время жизни увеличивается для отпечатанных нанополос ($\tau_{\text{НП}} \approx 24,5$ нс), но уменьшается для отпечатанных наноотверстий ($\tau_{\text{НО}} \approx 17,8$ нс) по сравнению с тонким перовскитом пленка ($\tau_{\text{П}} \approx 20,4$ нс). Эти времена отражают как внутренние изменения материала (например, диффузионную длину носителей), так и влияние резонансов (например, фактор Парселя). С одной стороны, наноимпринтинг приводит к увеличению среднего размера зерна перовскита и, как следствие, увеличение времени жизни носителей заряда, что приводит к увеличению затухания ФЛ до 1,5 раз [9]. С другой стороны, эффект Парселя для излучения диполей в резонаторе с более высокой LDOS приводит к ускорению спонтанного излучения. Таким образом, принимая во внимание влияние размера зерна, мы можем приблизительно оценить, что фактор Парселя, усредненный по всему спектру излучения, составляет около 2 для наноотверстий, тогда как он близок к 1 для нанополос. Это качественно согласуется с расчетными зонными фотонными структурами, где спектр ФЛ охватывает гораздо больше состояний с высокой LDOS для наноотверстий, чем для нанополос. Фактор Парселя и поглощение объясняют более высокий сигнал ФЛ для наноотверстий по сравнению с нанополосами.

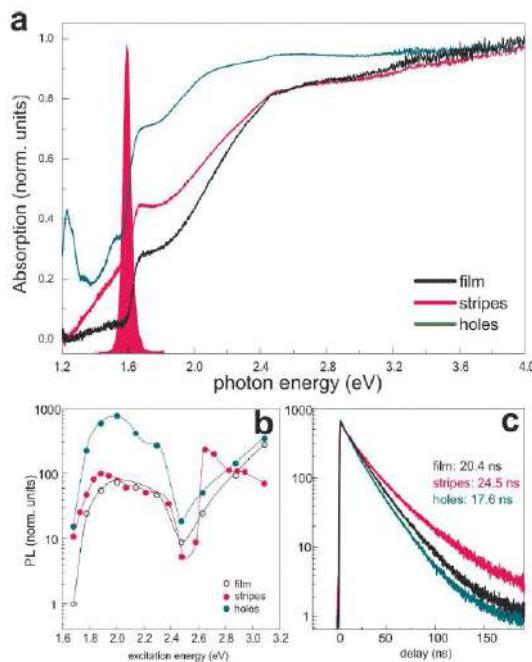


Рисунок 4. Однофотонная фотолюминесценция. (а) Измеренные спектры поглощения перовскитовой пленки (черный) и двух метаповерхностей с наноимпринтом (зеленый и розовый). Закрашенная область соответствует спектру ФЛ перовскита. (б) Зависимость усиления ФЛ от энергии возбуждающего фотона. (с) Измерения ФЛ с временным разрешением для трех типов перовскитных пленок

Чтобы изучить эффекты оптических резонансов в отдельных элементах нанополос и наноотверстий, мы проводим измерения многофотонной ФЛ (МФЛ) на длине волны $\lambda = 1050$ нм (1,18 эВ), обнаруживая более сильную зависимость сигнала ФЛ от конструкции метаповерхностей по сравнению с однофотонной фотовозбуждением. Следует подчеркнуть, что длина волны fs-лазера значительно больше как периодов, так и размеров «метаатомов» отпечатанных наноструктур, что исключает какие-либо эффекты дифракции даже в кремнеземных подложках.

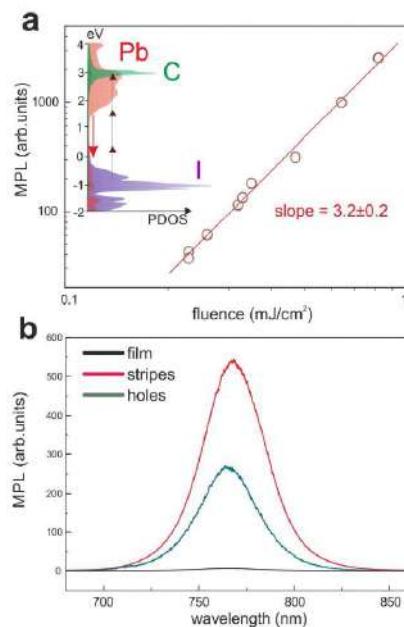


Рисунок 5. Многофотонная фотолюминесценция. (а) Зависимость выхода МФЛ от средней мощности фемтосекундных лазерных импульсов ($\lambda = 1050$ нм, $\tau = 150$ фс). На вставке: схема поглощения и излучения фотонов в нелинейном режиме с парциальной плотностью состояний основных компонентов перовскита. (б) Сравнение спектров МФЛ от разных типов метаповерхностей

Трехфотонный характер излучаемого сигнала ФЛ подтверждается наклоном третьего порядка зависимости сигнала МФЛ от интенсивности fs -лазера [рис. 5 (а)]. Как показано на вставке к рис. 5а (заимствовано из [16]), происхождение эффективного трехфотонного поглощения фотонов 1,18 эВ может быть проанализировано с точки зрения парциальной плотности состояний (PDOS), где три пика от Pb, I и C делают переходы в 3-4 эВ гораздо более вероятными, чем в <3 эВ. Более того, недавние эксперименты по нестационарной спектроскопии перовскита ясно выявили новый резонанс в фотопропускении при 3,2 эВ в классическом перовските MAPbI₃, которое связывают с оптическим переходом во вторую зону проводимости. Поскольку наша пленка перовскита с наноимпринтом имеет 13% легирования Br, мы можем ожидать, что положение этой второй зоны проводимости в нашем тройном катионном сплаве будет немного выше, то есть при ~ 3,4-3,5 эВ, что совпадает с энергией нашей 3-фотонной накачки с фотонами 1,18 эВ. Этот вывод подтверждается нашими линейными измерениями [рис. 4 (б)], где ФЛ от перовскитовой пленки более интенсивна при энергиях фотонов выше 2.8 эВ. Примечательно то, что спектры однофотонного и трехфотонного излучения смещены относительно друг друга, как это наблюдалось ранее в других исследованиях МФЛ перовскитов [17].

Мы полагаем, что причиной более сильного усиления МПЛ является зависимость трехфотонной ФЛ исследуемых перовскитов от локального усиления электрического поля внутри материала. Действительно, при многофотонном фотовозбуждении линейные потери очень малы, что позволяет возбуждать резонансы с относительно высокими Q- факторами, тогда как высокое поглощение наблюдается только в горячих точках. Такое резонансное многофотонное возбуждение дает 70-кратное усиление МФЛ, тогда как другая поляризация обеспечивает в 30 раз меньший сигнал из-за отсутствия резонансного отклика от метаповерхности [рис. 5 (б)].

Выводы. В заключение мы предложили новый подход к созданию крупномасштабных метаповерхностей перовскита для видимого и ближнего ИК-диапазонов со значительно улучшенными свойствами ФЛ. Показано, что интенсивность ФЛ может быть увеличена до 8 раз при однофотонном фотовозбуждении и до 70 раз при трехфотонном фотовозбуждении. Мы обнаружили, что усиление достигается за счет возбуждения резонансных мод Ми и

эффекта Перселя. Защита перовскитов с рисунком от их разрушения была достигнута за счет специальной подготовки материала, обеспечивающей стабильные метаповерхности в течение более 3000 часов в окружающей среде без инкапсуляции. Результаты показывают, что перовскиты - это уникальные материалы, позволяющие экономичный наноимпринтинг для крупномасштабного изготовления метаповерхностей с высоким показателем преломления, которые могут использоваться для разработки оптимизированных планарных метаустройств для высокоэффективных светодиодов, лазеров и усилителей.

Признательность

Данная работа выполнена в рамках проекта АР08855457 «Разработка инновационной технологии получения нанокристаллических композиционных покрытий для электродов топливных элементов и водородной энергетики» КазНУ им. аль-Фараби, Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] N. Yu and F. Capasso. *Flat optics with designer metasurfaces*. Nature Materials 13, 139-150 (2014).
- [2] S. Glybovski, S.A. Tretyakov, P.A. Belov, Y.S. Kivshar, and C.R. Simovski, *Metasurfaces: From microwaves to visible*, Physics Reports 634, 1-72 (2016)
- [3] A. Boltasseva and H.A. Atwater. *Low-loss plasmonic metamaterials*, Science 331, 290-291 (2011).
- [4] A.I. Kuznetsov, A.E. Miroshnichenko, M.L. Brongersma, Y.S. Kivshar, and B. Lukyanchuk, *Optically resonant dielectric nanostructures*, Science 354, aag2472 (2016).
- [5] B.R. Sutherland and E.H. Sargent, *Perovskite photonic sources*, Nature Photonics 10, 295-302 (2016).
- [6] Y. Chen, H.T. Yi, X. Wu, R. Haroldson, Y.N. Gartstein, Y.I. Rodionov, K.S. Tikhonov, A. Zakhidov, X.Y. Zhu, and V. Podzorov, *Extended carrier lifetimes and diffusion in hybrid perovskites revealed by Hall effect and photoconductivity measurements*, Nature Communications 7, 12253 (2016).
- [7] Z.K. Tan, R.S. Moghaddam, M.L. Lai, P. Docampo, R. Higler, F. Deschler, M. Price, A. Sadhanala, L.M. Pazos, D. Credginton, F. Hanusch, T. Bein, H.J. Snaith, and R.H. Friend, *Bright light-emitting diodes based on organometal halide perovskite*, Nature Nanotechnology 9, 687-692 (2014))
- [8] H. Zhu, Y. Fu, F. Meng, X. Wu, Z. Gong, Q. Ding, M.V. Gustafsson, M.T. Trinh, S. Jin, and X.Y. Zhu, *Lead halide perovskite nanowire lasers with low lasing thresholds and high quality factors*, Nature Materials 14, 636-642 (2015).
- [9] H. Wang, R. Haroldson, B. Balachandran, A. Zakhidov, S. Sohal, Y.X. Ren, J.Y. Chan, A. Zakhidov, and W. Hu, *Nanoimprinted perovskite nanonanostripe photodetector with improved efficiency*, ACS Nano (2016)
- [10] M. Saliba, T. Matsui, K. Domanski, J.Y. Seo, A. Ummadisingu, S.M. Zakeeruddin, J.P. Correa-Baena, W.R. Tress, A. Abate, A. Hagfeldt, and M. Gratzel, *Incorporation of rubidium cations into perovskite solar cells improves photovoltaic performance*, Science 354, 206-209 (2016).
- [11] Jeon, N. J.; Noh, J. H.; Kim, Y. C.; Yang, W. S.; Ryu, S.; Seok, S. I., *Solvent engineering for high-performance inorganic-organic hybrid perovskite solar cells*, Nature Materials 13, 897-903 (2014).
- [12] Z. Yang, C. Chueh, P. Liang, M. Crump, F. Lin, Z. Zhu, and A. Jen, *Effects of formamidinium and bromide ion substitution in methylammonium lead triiodide toward highperformance perovskite solar cells*, Nano Energy 22, 328-337 (2016).
- [13] R. Beal, D. Sotcavage, T. Leijtens, A. Bowring, R. Belisle, W. Nguyen, G. Burkhard, E. Hoke, and M. McGehee, *Cesium Lead Halide Perovskites with Improved Stability for Tandem Solar Cells*, J. Phys. Chem. Lett. 7, 746-751 (2016)

- [14] D.W. de Quilettes, S.M. Vorpahl, S.D. Stranks, H. Nagaoka, G.E. Eperon, M.E. Ziffer, H.J. Snaith, and D.S. Ginger, *Impact of microstructure on local carrier lifetime in perovskite solar cells*, *Science* 348, 683-686 (2015).
- [15] Xiao, J.; Yang, Y.; Xu, X.; Shi, J.; Zhu, L.; Lv, S.; Wu, H.; Luo, Y.; Li, D.; and Meng, Q., *Pressure-assisted CH₃NH₃PbI₃ morphology reconstruction to improve the high performance of perovskite solar cells*. *Journal of Materials Chemistry A* 3, 5289-5293 (2015).
- [16] M.R. Shcherbakov, D.N. Neshev, B. Hopkins, A.S. Shorokhov, I. Staude, E.V. Melik-Gaykazyan, M. Decker, A.A. Ezhov, A.E. Miroshnichenko, I. Brener, and Y.S. Kivshar, *Enhanced third-harmonic generation in silicon nanoparticles driven by magnetic resonances*, *Nano Letters* 14, 6488-6492 (2014).
- [17] P.A. Dmitriev, D.G. Baranov, V.A. Milichko, S.V. Makarov, I.S. Mukhin, A.K. Samusev, A.E. Krasnok, P.A. Belov, and Y.S. Kivshar, *Resonant Raman scattering from silicon nanoparticles enhanced by magnetic response*, *Nanoscale* 8, 9721-9726 (2016).
- [18] R. Camacho, M. Rahmani, S. Kruk, L. Wang, L. Xu, D. Smirnova, A. Solntsev, A. Miroshnichenko, H.H. Tan, F. Karouta, S. Naureen, K. Vora, L. Carletti, C. De Angelis, C. Jagadish, Y.S. Kivshar, and D.N. Neshev, *Nonlinear generation of vector beams from AlGaAs nanoantennas*, *Nano Letters* (2016) DOI: 10.1021/acs.nanolett.6b03525
- [19] M. Kato, T. Fujiseki, T. Miyadera, T. Sugita, S. Fujimoto, M. Tamakoshi, M. Chikamatsu, and H. Fujiwara, *Universal rules for the visible-light absorption in hybrid perovskite materials*, arXiv: 1605.05124 (2016).

Г.Ш. Яр-Мухамедова, Г.Т. Джаманбаева, Б.Ж. Бисембаев
әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
e-mail: gulsara.jamanbayeva@mail.ru, gulmira-alma-ata@mail.ru

ГИБРИДТІ ПЕРОВСКИТТЕР НЕГІЗІНДЕ МЕТАБЕТТЕРДІ ҚҰРУ

Аннотация. Жоғары индексті резонанстық диэлектрлік наноқұрылымдар физикасы саласындағы соңғы әзірлемелер жаңа оптикалық метабеттерді жасау үшін қолдануға болатын күшті магниттік реакциясы бар Ми резонанстарына байланысты субтолқын жарығын басқарудың балама механизмдерін ұсынады. Мұнда біз перовскиттердің органикалық катиондық бөлігін легірлеу арқылы оңтайландырылған наноимпринтингтеген перовскит пленкаларына негізделген метабеттерін көрсетеміз. Біз мұндай метабеттер тұрақтылығының жоғарылауымен бірге сзызықтық және сзызықты емес фотолюминесценцияның (70 есеге дейін) айтарлықтай есүін көрсете алатындығын анықтадық. Біздің нәтижелеріміз наноимпринттердің литографиясына негізделген және қарапайым химиялық реакциялармен біріктірілген тиімді әдісті ұсынады, бұл жоғары тиімді планарлы оптоэлектрондық метақұрылғыларға жол ашуды мүмкін функционалды метабеттінің жаңа буынын құру.

Негізгі сөздер: метабеттер, перовскит, фотолюминесценция, Ми резонанстары, наноимпринтинг.

G.Sh. Yar-Mukhamedova, G.T. Jamanbayeva, B.J. Bisembayev
al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan
e-mail: gulsara.jamanbayeva@mail.ru, gulmira-alma-ata@mail.ru

CREATING METASURFACES BASED ON HYBRID PEROVSKITES

Abstract. Recent developments in the physics of high-index resonant dielectric nanostructures suggest alternative mechanisms for subwavelength light control driven by Mie resonances with strong magnetic response that can be employed for a design of novel optical metasurfaces. Here we demonstrate metasurfaces based on nanoimprinted perovskite films optimized by alloying the organic cation part of perovskites. We reveal that such metasurfaces can exhibit a significant enhancement of both linear and nonlinear photoluminescence (up to 70 times) combined with advanced stability. Our results suggest a cost-effective approach based on nanoimprint lithography and combined with simple chemical reactions for creating a new generation of functional metasurfaces which may pave a way towards highly efficient planar optoelectronic metadevices.

Keywords: metasurface, perovskites, photoluminescence, Mie resonances, nanoimprinting.

К.К. Шалбаев, С.М. Болатов, Н.С. Камзанов*

Сәтбаев университеті, Алматы, Казахстан

*e-mail: n.kamzanov@mail.ru

ОТЫН ШЫҒЫНЫН АЗАЙТУ ЖӘНЕ АТМОСФЕРАГА ЗИЯНДЫ ЗАТТАРДЫҢ ШЫҒАРЫЛУЫН АЗАЙТУ ҮШИН ШТЕН ЖАНУ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРЫНДА СУТЕГІ ГЕНЕРАТОРЫН ПАЙДАЛАНУ

Аннотация. Соңғы жылдары автомобиль өнеркәсібі қарқынды дамып келеді, ал мұнай ресурстарының жетіспеушілігі және автомобиль шығарындыларынан туындаған қоршаган ортандың ластануы оны одан әрі дамыту үшін елеулі проблемалар туғызады. Сутегі баламалы мотор отыны ретінде отын үнемдеуді жақсартуда және зиянды газдар шығарындыларын азайтуда өзінің бірегей артықшылықтарына ие. Алайда, біз басқа да қасиеттерінің қымбаттығына байланысты балама отын ретінде сутекті тікелей пайдалана алмаймыз.

Негізгі сөздер: сутегі генераторы, зиянды заттар, атмосфера, іштен жану қозғалтқыштар, отын шығынын азайту.

Сутегі қосылған бензин отыны негізінде қозғалтқышты дамыту балама отынды тұтыннатын зерттеулердің маңызды бағыты болып табылады.

Біз автомобиль өндірісінің өсуін тікелей тоқтата алмайтындықтан, әлемді ластанудан сақтау үшін әртүрлі әдістерді қолдануды ұсынамыз [1,2].

Сутегі-түссіз, іссіз, дәмсіз және жердегі қалыпты жағдайда улы емес газ. Әдетте, ол диатомды молекула түрінде болады, яғни әр молекулада екі сутегі атомы болады;

Сондықтан таза сутегі әдетте « H_2 » деп аталады. Сутегі-әлемдегі ең көп таралған элемент, ол әлем массасының 90 пайызын құрайды. Алайда, ол әдетте оның таза түрінде болмайды, өйткені ол басқа элементтермен оңай үйлеседі.

Бұл сонымен қатар стандартты қысым кезінде тығыздығы 0,08988 г/л болатын ең жеңіл элемент [1].

Сутектің отын ретінде қолданылуына әсер ететін бірнеше маңызды химиялық қасиеттері бар:

- ол оттегімен қосылып, осы планетада өмір сұру үшін өте қажет су түзеді;

- оның салмағы бойынша энергия мөлшері жоғары (бензиннен 3 ессе көп), бірақ стандартты температура мен қысым кезінде көлемге энергия тығыздығы өте төмен. Көлемді энергия тығыздығын сутекті жоғары қысыммен сақтау немесе оны өте төмен температурада сұйықтық ретінде сақтау арқылы арттыруға болады. Сутекті металл гидридтеріне де сіңіруге болады;

- сутегі өте жанғыш; оны жағу және оны жағу үшін аз ғана энергия қажет. Сондай-ақ, ол жанғыштықтың кең спектріне ие, яғни ауа көлемінің 4-тен 74 пайызға дейін болса, ол жануы мүмкін;

- сутегі бозғылт көк, көрінбейтін жалынмен құйіп кетеді, бұл сутегі шамдарын көруді қыыннатады;

- сутектің жануы көмірқышқыл газының (CO_2), қатты бөлшектердің немесе құқірттің шығарылуына әкелмейді. Ол кейбір жағдайларда азот оксиді (NO_x) шығарындыларын шығара алады;

- сутекті жанартылатын ресурстардан алуға болады, мысалы этанолды қайта құру (бұл процесс көмірқышқыл газының белгілі бір мөлшерін шығарады) және судың электролизі [2].

Сутектің нақты физикалық сипаттамалары осы қарапайым отыннан айтарлықтай ерекшеленеді. Бұл қасиеттердің кейбіреулері сутекті аз қауіпті етеді, ал сутектің басқа сипаттамалары белгілі бір жағдайларда оны теориялық түрғыдан қауіпті етуі мүмкін. 1-кестеде отынның белгілі бір түрлерінің жану сипаттамалары келтірілген [3].

1-кесте. Сутегі, метан және бензиннің жану қасиеттері

Меншік	Сутегі	Метан	Бензин
Жанғыштық шектері (көлемі бойынша%)	4 – 7,5	5,3 – 15,0	1,2 – 6,0
Энергияның минималды жануы (мДж)	0,02	0,28	0,25
FTП кезіндегі жылдамдықтың ламинарлық жалыны (м/с)	1,90	0,28	0,37 - 0,43
Өздігінен тұтану	8,58	8,13	5,00 – 7,50

Қозғалтқыштың жұмысы.

Браун газы (ННО) деп аталатын сутегі мен оттегінің қоспасын коммерциялық бензинмен салыстыра отырып, ННО отынның химиялық құрылымы жағынан өте тиімді екенін атап өтеміз.

Сутегі мен оттегі ННО -да тәуелсіз кластерлері бар жанармай бірлігіне екі атом ретінде болады, ал бензин отыны мындаған ірі көмірсүтек молекулаларынан тұрады.

Жанған кезде оның жалынның алдыңғы жағы цилиндр қабырғасының жоғары температурасынан бензин/ауаның әдеттегі жануына қарағанда әлдекайда жоғары жылдамдықпен шығады.

Шығарылған ННО дығы мен жалынның жоғарылауына ықпал етті, бұл жану тиімділігінің артуына әкеледі.

Сондай-ақ, ННО газын отын/ауа қоспасына енгізу бензин отынның октан санына оң әсер етеді.

Сондықтан қозғалтқыштың сығылу коэффициентін арттыруға болады, сондықтан тиімділіктен үлкен пайда алуға болады. Сонымен қатар, қозғалтқыштың моментін барынша көбейту үшін тұттану үақытын көбейтуге болады [4].

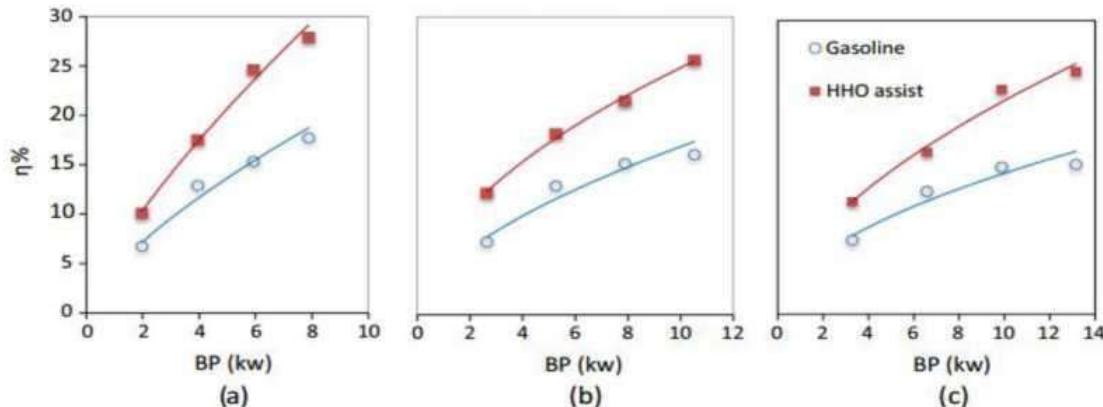
Генераторы бар ІЖК-дағы эксперименттік деректер.

СО шығарындылары жанармай мен қозғалтқыштың ауа қатынасына байланысты, сондықтан ННО -газ қоспасын қолдану жанармай шығынын азайту салдарынан пайдаланылған газда көміртегі тотығының болуын едәуір төмендетеді.

Вольтметр мен амперметр электр зертханасында калибрленді, ал динамометр калибрленді Александрия университетінің ішкі жану зертханасы.

Қате 1% - дан аз екендігі анықталды. Төменде келтірілген қателерді талдау олшенген деректердің белгісіздігін көрсетеді [5].

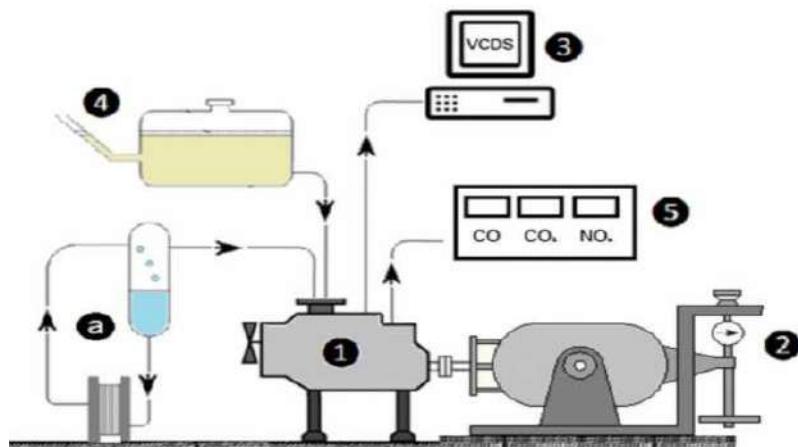
Кейбір сынақ нәтижелері 1-суретте көрсетілген.



1-сурет. ННО-мен жылу тиімділігін әр түрлі қозғалтқыш жылдамдығында таза бензин отынмен жақсарту

а-1500 айн/мин; б-2000 айн/мин; с - 2500 айн / мин

Бұл эксперименттер Skoda Felicia қозғалтқышында жүргізілді, оның сипаттамалары 2-кестеде көлтірілген, сынақтар әртүрлі жүктемелермен 1500, 2000 және 2500 айн/мин айналу жиіліктерінде жүргізілді. Қозғалтқыштың әртүрлі параметрлері 2-суретте көрсетілген сынақ қондырғысында өлшенеді.



2-сурет. Сынақ стендінің схемалық диаграммасы

Қозғалтқыш жүктемесі Froude (2) гидравликалық динамометрімен, vag-Com (VCDS) (3) диагностикалық жүйелері арқылы қозғалтқыштың айналу жылдамдығымен және ая ағынымен өлшенді, қозғалтқыштың отын шығыны өзін-өзі реттейтін көлбеу манометрмен (4) және TE488 (5) моделінің пайдаланылған газ анализаторымен қозғалтқыштың шығуымен өлшенеді.

Тестілеу hho ұяшығын пайдаланбай және қабылдау коллекторына қосылған ННО ұяшығын пайдалана отырып, негізгі отын ретінде бензинмен жұмыс істейтін алынған қозғалтқыш үшін жүргізіледі. Бұл қозғалтқышта айнымалы жүктеме кезінде тұрақты жылдамдық сынағы жасалды.

Қозғалтқыш тексеріліп, өлшенген мәліметтер ННО/бензин үшін де, бензин үшін де бірдей жұмыс жағдайларына жиналады. Қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін ННО генерациялау жүйесі қозғалтқыштың кіріс коллекторына екі разрядтауыш арқылы қосылады, олар кіріс коллекторының кері жүрісі жағдайында бензин қозғалтқышын жабады [6].

2-кесте. Қозғалтқыштың сипаттамасы

Қозғалтқыш моделі	Skoda Felicia 1.3 GLXi1.3 L (1289 см3)
Қозғалтқыш түрі	кіріктірілген, 4 цилиндрлі
Отын жүйесі	Көп нүктелі отын бүркү
Қысу коэффициенті	9,7:1
Максимум. қуат	5500 айн/мин кезінде 67,66 HP
Максималды момент	3750 айн/мин кезінде 102 Нм

ННО-ның Ford Laser автокөлігіне әсері (2016).

Зерттеу үшін 2016 жылғы Ford Laser автокөлігінде 1,5 литрлік төрт цилиндрлі үшқын қозғалтқышы қолданылды. Бұл автомобиль қазіргі уақытта жолда жұмыс істейді, сондықтан өкілдік техникалық сипаттамаларды береді. Сынақ жабдықтары мен процедуralарын орналастыру үшін шағын өзгерістер енгізілді. Көліктің егжей-тегжейлі сипаттамасы 3-кестеде көлтірілген.

3-кесте. Ford Laser қозғалтқышының сипаттамасы

Қозғалтқыш моделі	Ford Laser, 2016 (1490 см3)
Қозғалтқыш түрі	4 цилиндрлі
Отын жүйесі	Көп нүктелі отын бүркү
Қысу коеффициенті	9,0:1
Максимум. қуат	5500 айн/мин кезінде 56,6 НР
Максималды момент	3000 айн/мин кезінде 117 Нм

Автомобилдің қуаты Жол динамометрінің көмегімен өлшенді.

Қуат динамометрдің максималды жүктемесінің үлесі ретінде көрсетілген. Шығарылған шығарындылар Nextech nга 6000 автомобиль ГАЗ анализаторымен өлшенді. Пайдаланылған газдың температурасы мен қоршаган ортаниң температурасы к типті термопарамен басқарылды, пайдаланылған газдың температурасын өлшеу үшін пайдаланылған Термопара пайдаланылған газдың бүйір қабыргаларына тиіп кетпес үшін шығару коллекторына енгізілді [6].

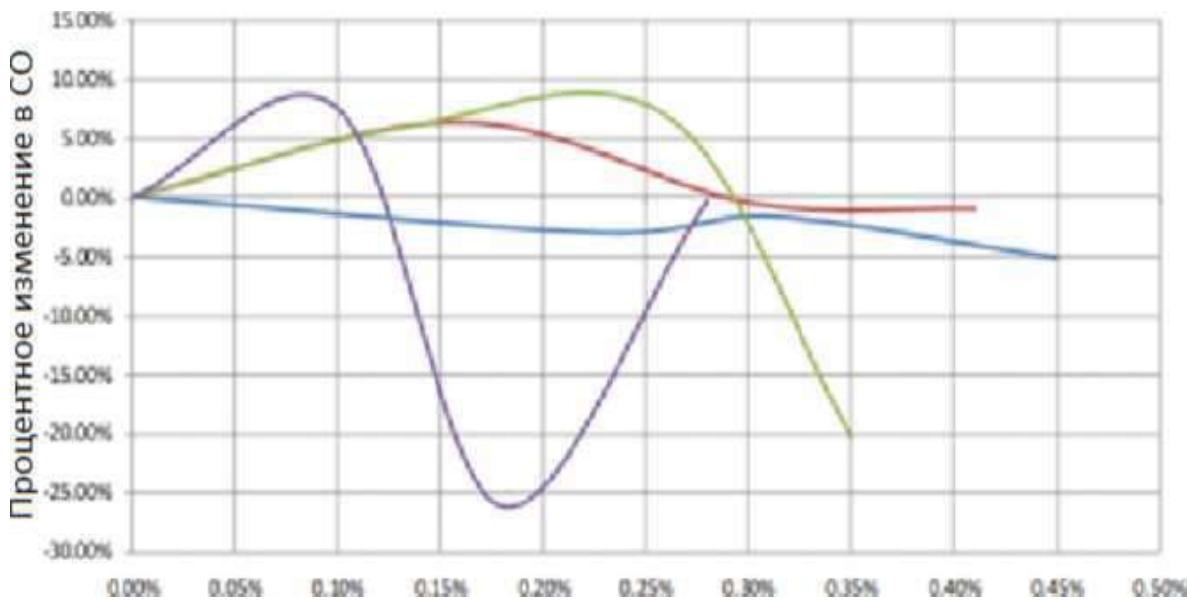
Сынақ кезінде өздігінен ағатын отынды өз өндірісінің дайын отын багымен беру жүйесі қолданылды. Жанармай шығыны көрсетілген уақыт аралығында аяқталған резервуардан оқылды.

Қозғалтқыштың ауа-отын қатынасы 30% жүктеме кезінде 14,7 мәніне дейін калибрленген. Бұған карбюратордың қалқанын реттеу және пайдаланылған газдың құрамын бақылау арқылы қол жеткізілді.

ННО газ генераторы жүктемесіз басқарылды және ток пен газдың шығуы арасындағы қатынасты анықтады. Содан кейін ол эксперимент кезінде генераторды басқару жүйесінде жүзеге асырылды. Қозғалтқыштың негізгі сипаттамалары толық тестілеуден бұрын анықталды. Сынақтар 1000, 2000, 2500, 3000 және 3500 айн/мин жылдамдықта жүргізілді.

Шығарындылардағы өзгерістер ННО пайыздық функциясы және қозғалтқыштың әртүрлі айналымдары үшін динамометр жүктемесі ретінде бақыланды [7].

3-суретте кейбір сынақ нәтижелері көрсетілген.



3-сурет. ФБҰ-ның СО шығарындыларына әсері

Daewoo Matiz машинасында заттай сынау нәтижелері.

Нho-газдың шығарындыларға әсерін зерттеу бойынша заттай сынақтар жүргізілді және 2007 жылы шығарылған, көлемі 0,8 л Daewoo Matiz автомобилінің қозғалтқышы өндірілді. Өндірілген газ қозғалтқыштың қабылдау коллекторындағы таза ауамен араластырылды.

Daewoo Matiz машинасында пайдаланылған газдарды тәжірибеге дейін және кейін салыстыру.

Daewoo Matiz машинасында пайдаланылған газды өлшеу "Инфракар" газ анализаторының көмегімен жасалады. Daewoo Matiz-тегі бензин қозғалтқышының пайдаланылған газдарындағы көміртегі тотығының (CO), көмірқышқыл газының (CO₂) және көмірсүтектің (HC) көлемді үлесін өлшедік. Заттай сынақтың нәтижелері 4-кестеде көлтірілген.

4-кесте. Заттай сынақтың нәтижелері

Отын, бензин маркасы	ВГ-мен отын шығыны, л G _C ВГ	Авто-мобиль жүрісі ВГ-мен, км	ВГ-сыз отын шығыны, л G _B ВГ	Авто-мобиль жүрісі ВГ-сыз, км	Коршаган ортасындағы температура, °C	ВГ-мен ортаса жылдамдық, км/сағ, V _c ВГ	ВГ-сыз ортаса жылдамдық, км/сағ, V _B ВГ	Салыстырмалы отын үнемдеу (G _B ВГ - G _C ВГ)/G _B ВГ %	Концентрация аппарат КОН-да дистиллятте, г/л
АИ-92 Қаласында	4	100	5	100	+28	40,21	40,51	20	20
АИ-92 Тас жолда	3.5	100	4.5	100	+31	90,56	90,32	22,2	20

Қорытынды.

1. Бензин қозғалтқышында сутегі генераторын пайдалану қозғалтқыштың тиімділігін арттырып, отын шығынын азайтады.

2. Daewoo Matiz автомашинасында заттай сынақтар жүргізу барысында алынған нәтижелер 4-кестеде көлтірілген.

3. Сутегі генераторын пайдалану ауаның ластану мәселесін толығымен шешпейді. Идеал шешім-сүтегі отынына 100 пайыз автомобилдерді пайдалану. Әлемдік автоөндірушілер арзан сутегі көлігін өндіруді қарастыруы керек.

ӘДЕБИЕТТЕР

[1] Шалбаев К.К. Канажанов А.Е. Абай Т. (2019). Пути уменьшения вредных выбросов в окружающую среду и снижения расхода топлива в автотермофрижераторах. IX Международная Научно - Техническая Конференция «Казахстан - Холод 2019».

[2] Turar Abai, Kalmanbet Shalbayev. Using hydrogen generator in internal combustion engines to reduce gasoline consumption and reduce harmful emissions into the environment. Confirmed in article Sigma. Turkey.

[3] Т. Абай, К.К. Шалбаев. Генератор водорода двигателей внутреннего сгорания для снижения расхода бензина и уменьшения вредных выбросов в окружающую среду. Принята для печати в Монгольском Техническом Университете ШУТИС.

[4] Daniel M. Madyira, Wayne G. Harding. (2014). Effect of HHO on Four Stroke Petrol Engine Performance. 9th South African Conference on Computational and Applied Mechanics

[5] Брагинский О.Б. (2015). Альтернативные моторные топлива: мировые тенденции и выбор для России. Российская химия. — №6. — С. 137—147.

[6] McQueeney, R. (2017.12.27). How much oil is left in the earth. Retrieved from <https://www.zacks.com/stock/news/287141/how-much-oil-is-left-in-the-earth>

[7] Why car manufacturers favor electric car over hydrogen. (2017.06.22). Retrieved from https://www.huffingtonpost.com/entry/why-car-manufacturers-favor-electric-over-hydrogen_us_59496435e4b07e2395ce0ff1

REFERENCES

- [1] Shalbaev K.K. Kanazhanov A.E. Abaj T. (2019). Puti umen'shenija vrednyh vybrosov v okruzhajushhuju sredu i snizhenija rashoda topliva v avtorefrizheratorah. IX Mezhdunarodnaja Nauchno - Tehnicheskaja Konferencija «Kazakhstan - Holod 2019».
- [2] Turar Abai, Kalmanbet Shalbayev. Using hydrogen generator in internal combustion engines to reduce gasoline consumption and reduce harmful emissions into the environment. Confirmed in article Sigma. Turkey.
- [3] T. Abaj, K.K. Shalbaev. Generator vodoroda dvigatelej vnutrennego sgoraniya dlja snizhenija rashoda benzina i umen'shenija vrednyh vybrosov v okruzhajushhuju sredu. Prinjata dlja pechati v Mongol'skom Tehnichiskim Universitete ShUTIS.
- [4] Daniel M. Madyira, Wayne G. Harding. (2014). Effect of HHO on Four Stroke Petrol Engine Performance. 9th South African Conference on Computational and Applied Mechanics
- [5] Braginskij O.B. (2015). Al'ternativnye motornye topliva: mirovye tendencii i vybor dlja Rossii. Rossijskaja himija. — №6. — S. 137—147.
- [6] McQueeney, R. (2017.12.27). How much oil is left in the earth. Retrieved from <https://www.zacks.com/stock/news/287141/how-much-oil-is-left-in-the-earth>
- [7] Why car manufacturers favor electric car over hydrogen. (2017.06.22). Retrieved from https://www.huffingtonpost.com/entry/why-car-manufacturers-favor-electric-over-hydrogen_us_59496435e4b07e2395ce0ff1

К.К. Шалбаев, С.М. Болатов, Н.С. Камзанов*

Satbayev University, Алматы, Казахстан

*e-mail: n.kamzanov@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ВОДОРОДА В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА И СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ

Аннотация. В последние годы автомобильная промышленность быстро развивается, а нехватка нефтяных ресурсов и все более серьёзное загрязнение окружающей среды, вызванное выбросами автомобильных выхлопов, создает серьёзные проблемы для ее дальнейшего развития. Водород, как альтернативное моторное топливо имеет свои уникальные преимущества в улучшении экономии топлива и сокращении выбросов вредных газов. Однако мы не можем напрямую использовать водород в качестве альтернативного топлива из-за его высокой стоимости др. свойств.

Ключевые слова: генератор водорода, вредные вещества, атмосфера, двигатели внутреннего сгорания, снижение расхода топлива.

K.K. Shalbayev, C.M. Bolatov, N.S. Kamzanov*

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: n.kamzanov@mail.ru

USE OF A HYDROGEN GENERATOR IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES TO REDUCE FUEL CONSUMPTION AND REDUCE EMISSIONS OF HARMFUL SUBSTANCES INTO THE ATMOSPHERE

Abstract. In recent years, the automotive industry has developed rapidly, and the lack of oil resources and the increasingly serious environmental pollution caused by car exhaust emissions pose serious problems for its further development. Hydrogen, as an alternative motor fuel, has its own unique advantages in improving fuel economy and reducing harmful gas emissions. However, we cannot directly use hydrogen as an alternative fuel because of its high cost. properties.

Keywords: Hydrogen generator, Harmful substances, Atmosphere, Internal combustion engines, Reduced fuel consumption.

А.Н. Исаева, Б.Н. Корганбаев, А.А. Волненко, Д.К. Жумадуллаев
Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
e.mail: nii_mm@mail.ru

РАЗРАБОТКА СИСТЕМНО-ПОЭЛЕМЕНТНОЙ МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация. Для решения задач анализа, расчета, оптимального проектирования и управления технологическими процессами мощным системно-логическим и формально-математическим аппаратом является системно-поэлементная методология. Такая методология была создана для описания процессов коагуляции и осаждения в многофазных турбулентных потоках. С позиций системного анализа она включает три этапа: качественный анализ структуры физико-химической системы (ФХС); синтез структуры функциональной схемы физико-химических эффектов; идентификация и оценка параметров системы по экспериментальным данным. Рассматривая совокупность физико-химических эффектов и явлений, было выделено шесть типов - от явлений на молекулярном уровне до совокупности процессов, определяющих гидродинамическую обстановку в аппарате в целом. Приближенно к общему случаю в дальнейшем была предложена системно-поэлементная методология, предназначенная для создания экологически совершенного агрегата и включающая 10 этапов, начиная с формулировки проблемы и выбора исходных данных и кончая заданием на проектирование. Нами предложена более совершенная системно-поэлементная методология исследования и экологической модернизации технологического оборудования, этапы которой не описывают специфику того или иного процесса, но вместе с тем отражают целостность и логическую последовательность проводимых исследований.

Ключевые слова: системный анализ, системно-поэлементная методология, этапы, исследование, экологическая модернизация, процесс коагуляции, процесс осаждения, процесс сушки.

Введение. Системно-поэлементная методология это мощный системно-логический и формально-математический аппарат для решения задач анализа, расчета, оптимального проектирования и управления технологическими процессами. Она обеспечивает применение стратегии поэлементного рассмотрения всех элементарных актов физико-химических явлений и системного анализа их отдельного и совокупного воздействия на протекание этих процессов [1-5].

Основы системно-поэлементной методологии заложены в казахстанской научной школе по процессам и аппаратам химических технологий и промышленной экологии. Основателем научной школы академиком НАН РК О.С. Балабековым, на фундаментальной основе, решались вопросы описания процесса дробления жидкостного потока на струйки и капли [6].

Методы. Основным методом системно-поэлементного подхода является построение физико-математической модели химико-технологического процесса, которая используется в дальнейшем для решения задач оптимизации, управления и проектирования.

Результаты. Необходимость и целесообразность применения системно-поэлементного подхода можно проследить на примере анализа процессов коагуляции и осаждения в многофазных турбулентных потоках [5], т.е. системах, для которых характерно многообразие явлений, совмещение и взаимодействие явлений различной физико-химической природы. Построение математического описания сложного химико-технологического процесса, какими являются процессы коагуляции (в том числе и конденсационно-коагуляционное укрупнение) и осаждения аэрозолей с позиций системного анализа включает три этапа: качественный анализ структуры физико-химической системы (ФХС); синтез структуры функциональной схемы физико-химических эффектов; идентификация и оценка параметров системы по экспериментальным данным.

С точки зрения макропроцессов, следующие исследуемые явления можно отнести [5] к классу детерминированных систем: изменение размеров частиц аэрозоля за счет механизмов конденсационного роста; диффузия молекул паровой фазы к поверхности частиц аэрозоля; образование пленочного течения; молекулярно-диффузионное и инерционное осаждение аэрозоля на каплях, струях и пленках; перенос тепла в газовой, жидкой и твердой фазах. Однако системам присущи и явления стохастического характера: вторичное зародышеобразование; распределение частиц полидисперсного аэрозоля по размерам; коагуляция частиц аэрозоля; пульсационно-хаотическое течение несущего потока и частиц; образование капельной поверхности осаждения при диспергировании жидкости за счет энергии турбулентного потока и т. п.

Взаимодействие явлений детерминированного и стохастического характера и обуславливает особенности процессов укрупнения и осаждения аэрозолей в турбулентных потоках [5].

Трудности при моделировании такого рода ФХС обусловлены не только их сложностью, но и тем, что до недавнего времени были недостаточно разработаны соответствующие разделы теоретической механики неоднородных сред. Так, отсутствовали общие уравнения движения много-фазных сред, которые учитывали бы многокомпонентный массо- и тепло-перенос, фазовые превращения, химические реакции, неравномерность распределения частиц дисперсной фазы по размерам. Поэтому моделирование процессов коагуляции сводилось либо к решению уравнения баланса размеров частиц аэрозоля вне связи с силовыми и энергетическими взаимодействиями фаз, либо к оперированию алгебраическими (при анализе установившихся режимов) уравнениями баланса массы и тепла для аппарата в целом как для объекта с сосредоточенными параметрами [5].

Существующая отечественная и зарубежная литература в области моделирования и расчета процессов коагуляции и осаждения частиц аэрозолей в турбулентных потоках [7-18], посвященная главным образом решению прикладных технологических задач, отражает лишь отдельные частные стороны проблемы.

Использованный в работе [5] системно-поэлементный подход к описанию сложных ФХС позволяет получить достаточно общее математическое описание процессов укрупнения аэрозолей и их осаждения в многофазных турбулентных потоках, учитывающее все основные особенности в тесной взаимосвязи. На этапе качественного анализа структуры ФХС (рассматривая смысловой и количественный аспекты анализа) сформулированы общие уравнения термогидромеханики полидисперсного аэрозоля (уравнения баланса популяций, количества движения, энергии с учетом различного рода распределения частиц по размерам и фазовых переходов). Тем самым созданы предпосылки для последовательного и обоснованного учета наиболее существенных явлений и их описаний в общей структуре эффектов при построении функциональной блок-схемы (оператора) коагуляции и осаждения полидисперсного аэрозоля в различных устройствах с различными механизмами взаимодействия.

Стратегия системно-поэлементного подхода к исследованию и моделированию процессов коагуляции и осаждения аэрозолей в качестве первого этапа предполагает раздельный качественный анализ структуры процессов образования, укрупнения и осаждения частиц аэрозоля, из которых выделяются два аспекта: эвристико-смысловой, т. е. предварительный анализ априорной информации о физико-химических особенностях рассматриваемых процессов, и математический, т.е. качественный анализ структуры математических зависимостей, которые могут быть положены в основу описания процессов [5].

Рассматривая совокупность физико-химических эффектов и явлений, имеющих место в процессе взаимодействия ансамбля частиц с турбулентным потоком при наличии внешних воздействий, выделено [5] шесть типов таких взаимодействующих явлений и процессов: 1) совокупность явлений на молекулярном уровне; 2) множество физико-химических явлений,

связанных с движением единичной частицы (капли), и явлений межфазного тепло- и массопереноса; 3) физико-химические процессы в ансамбле частиц с учетом их столкновений и фазовых переходов; 4) совокупность процессов, определяющих скорость и эффективность процессов коагуляции в локальном объеме (ячейке) аппарата; 5) совокупность процессов, определяющих макрогидродинамическую обстановку в локальном объеме аппарата, процессы переноса и осаждения аэрозолей; 6) совокупность процессов, определяющих гидродинамическую обстановку в аппарате в целом.

Каждый тип рассмотренной структуры процесса коагуляции характеризуется [5] соответствующей формой математического описания. Основу описания явлений - первого и второго типов составляют феноменологические и статистические методы физико-химической кинетики и химической термодинамики. Для описания явлений и процессов, характерных для третьего типа, используют методы механики мелкомасштабных течений около частицы, гидродинамические модели, основанные на представлениях о движении частиц аэрозоля и межчастичных столкновений в потоках с гомогенной и изотропной турбулентностью, закономерности движения частиц в вихревом потоке, теории межфазного тепломассопереноса.

Основу описания явлений четвертого типа - структуры процесса коагуляции с учетом фазовых превращений составляют методы статистической теории механики аэрозолей, детерминированные модели переноса массы, импульса и энергии. Пятый тип структуры относится к процессам осаждения и включает модели гидродинамики потоков в локальном объеме аппарата, диссипативные модели каскадного переноса энергии и массы в вихревых потоках, модели, описывающие инерционно-диффузионные механизмы осаждения аэрозолей в потоках с вихревой структурой [5].

Таким образом, математическое описание стохастических свойств процесса коагуляции, дополненное детерминированными моделями переноса массы, импульса и энергии, и инерционно-диффузионные модели осаждения аэрозолей в итоге должны привести к общей математической модели шестого типа процесса коагуляции и осаждения. Уравнения первого, второго, третьего, четвертого и пятого типов структуры эффектов процессов коагуляции и осаждения входят составной частью в математическое описание явлений шестого типа, как математическое описание элементов всей системы в масштабе аппарата [5].

Практика показала, что это описание, прежде всего, должно быть доста-точно удобным и простым. Поэтому математическое описание процессов первых трех типов, необходимо максимально упростить и ввести в описание четвертого, пятого и шестого типов в достаточно простой и компактной форме. Упрощение достигается оценкой порядка малости величин с выявлением наиболее значимых факторов, оказывающих доминирующее влияние на процесс коагуляции и осаждения аэрозолей [5].

Представленная последовательность отвечает лишь структуре математического описания процессов коагуляции и осаждения аэрозолей.

В работах [19,20] приближенно к общему случаю предложена методология, предназначенная для создания экологически совершенного агрегата. В нее включается более широкий спектр проблем и задач. Она содержит структуру системно-поэлементной методологии (далее СПМ) создания экологически совершенного агрегата или установки (рисунок 1.2). СПМ состоит из 10 этапов, начиная с формулировки проблемы и выбора исходных данных (1-этап) и кончая заданием на проектирование (10-этап), т.е. включает комплекс задач, отвечающих современным требованиям по созданию новой техники.

Этапы и входящие в них задачи включают [19]:

1 этап – проблема и исходные данные. Передовые машиностроительные фирмы США, Западной Европы и Японии этому этапу уделяют самое пристальное внимание. К нему привлекаются крупные менеджеры, экономисты, технологии и проектировщики. Практически от их решения зависит конкурентоспособность производимой продукции;

2 этап – явления в наномасштабах. На молекулярном уровне эти исследования практически завершены. Сейчас проблема стоит в получении наноматериалов. Она сложна и требует специальных исследований. Здесь следует отметить, что закономерности тепло- и массообмена на макро-, микро- и наномасштабах аналогичны [21];

3 этап – процессы в микромасштабах, которые применительно к направлению по обработке дисперсных материалов должны включать закономерности взаимодействия частиц между собой и внешней средой (столкновение, коагуляция и другие эффекты);

4 этап – исследования единичного акта, без которого невозможно оценить механизм взаимодействия дисперсных частиц под воздействием внешних сил;

5 этап – позволяет с наибольшей вероятностью установить механизм взаимодействия дисперсных частиц со сплошным потоком с учетом конструкционных особенностей разрабатываемого аппарата;

6 этап – выбор конструктивных и режимных параметров разрабатываемого аппарата с целью определения эколого-экономической эффективности;

7 этап – разработка методики расчета и конструирования аппарата;

8 этап – оптимальный выбор экологического и вспомогательного оборудования, без которого невозможна компоновка агрегата, установки и технологической линии производства;

9 этап – разработка методики расчета экологически совершенного агрегата (машины, аппарата, установки);

10 этап – задание на проектирование, что является конечной стадией комплексной НИР с участием исследователей, технологов, экономистов и проектировщиков.

Отмечено [19], что в зависимости от поставленных задач, их изученности и наличия аналогов разрабатываемого объекта количество этапов может быть сокращено.

Механизм взаимодействия частиц твердых материалов наноразмеров сейчас практически не изучен. Для получения таких дисперсных материалов необходима специальная технология и оборудование. Например, можно предположить, что для получения наночастиц измельчением необходимы роторные мельницы с числом оборотов до 150-300 тысяч. Это огромные затраты. Поэтому для получения таких материалов следует использовать физические (холод, тепло, возгонка, конденсация и другие) и химические методы. Поэтому, учитывая, что в процессах пересыпки и сушки дисперсных материалов практически отсутствует пыль наноразмеров, в исследованиях [19] 2 этап был исключен из поставленных задач.

Процессы в микромасштабах (3 этап) достаточно исследованы в фундаментальных исследованиях [7-12], основные научные положения которых были использованы для анализа и разработки методики расчета применительно к разрабатываемому объекту.

10 этап является практически известной нормативной составляющей методологии создания новой техники. Этот раздел может быть выполнен только научной и проектной организацией.

Обсуждение. Рассмотренная системно-поэлементная методология исследования и экологической модернизации технологического оборудования была разработана применительно к сушильным барабанным агрегатам и не охватывает оборудование, которое работает в системах газ-газ, газ-жидкость, жидкость-жидкость и т.д.

На это указывают следующие этапы:

4 этап - Единичный акт взаимодействия дисперсных материалов;

5 этап - Структура и механизм взаимодействия группы единичных актов;

6 этап - Эколого-экономическая эффективность конструктивного решения аппарата.

Анализ работы оборудования в системах газ-газ, газ-жидкость, жидкость-жидкость показывает, что для создания более совершенной методологии необходимо предусмотреть этапы исследований, которые не описывают специфику того или иного процесса, но вместе с тем отражают целостность и логическую последовательность проводимых исследований.

В этой связи нами предложена более совершенная системно-поэлементная методология исследования и экологической модернизации технологического оборудования (рисунок 1), в которой принята следующая формулировка 4-6 этапов:

4 этап – единичный акт взаимодействия, участвующих в процессе фаз;

5 этап – структура потоков и механизм взаимодействия фаз;

6 этап – моделирование гидродинамических закономерностей и физико-химического взаимодействия потоков при проведении технологических процессов.

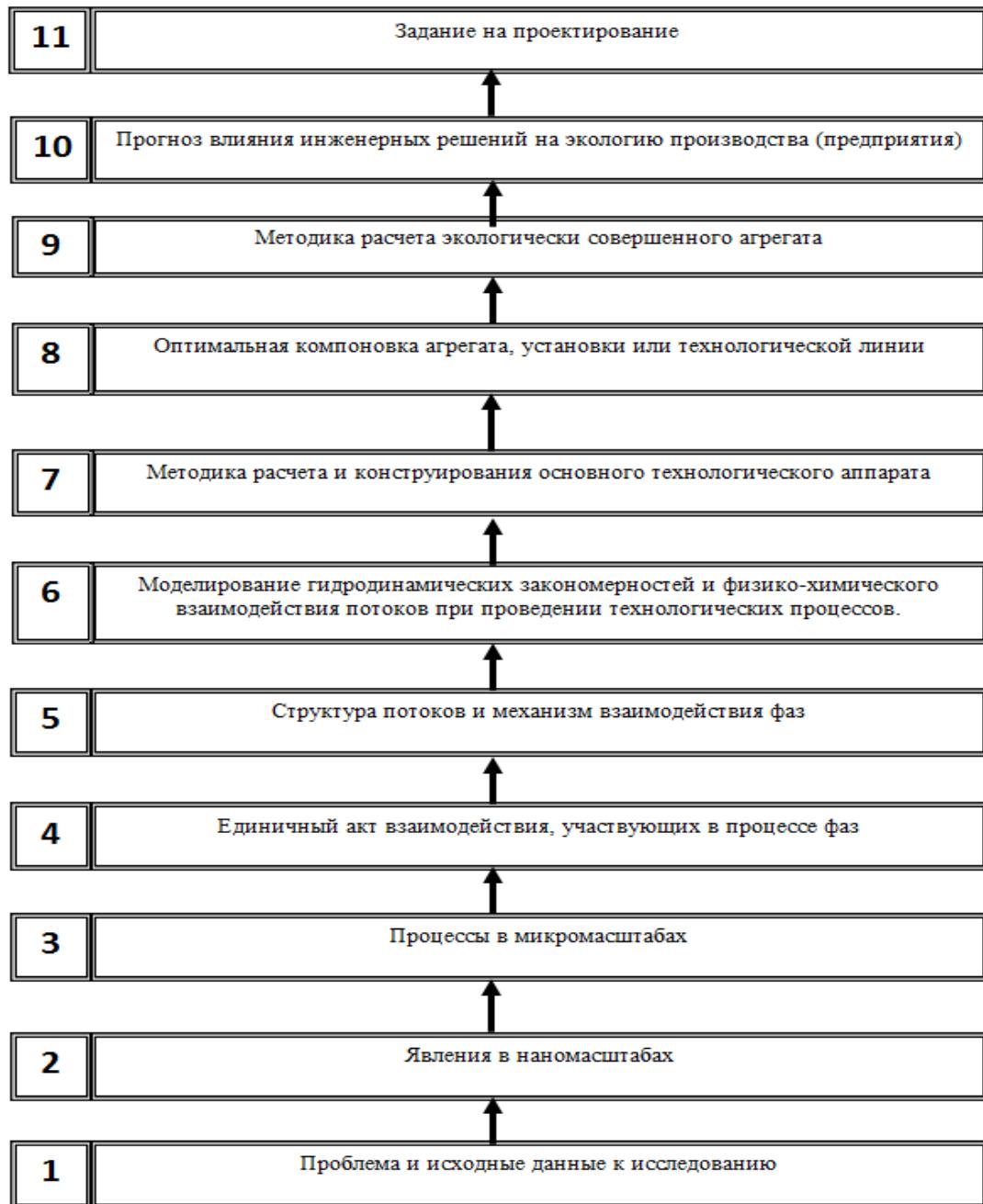


Рисунок 1. Структура системно-поэлементной методологии экологической модернизации технологического оборудования

Формулировка 4 этапа указывает на необходимость проведения исследований единичных актов взаимодействия, участвующих в процессе фаз, дающих возможность произвести оценку влияния внешних сил и возможный вклад в проведение процесса в целом.

Согласно 5 этапу необходимо проведение исследований структуры потоков и механизмов взаимодействия фаз. Проведение реальных процессов носит сложный характер. Механическое суммирование механизмов взаимодействия группы единичных актов может привести к значительным погрешностям. Необходимо детализировать структуру потоков и механизмов взаимодействия фаз с учетом взаимного влияния друг на друга.

Современные исследования, проводимые в лабораторных и промышленных условиях должны дополняться численным экспериментом. Развитие теоретических основ и вычислительной техники позволяют проводить такие исследования. И, именно во взаимосвязи экспериментальных и численных результатов добиваются создания методик расчета оборудования, имеющих незначительные погрешности. Поэтому в качестве 6 этапа нами предложено проведение моделирования гидродинамических закономерностей и физико-химического взаимодействия потоков при проведении технологических процессов.

Кроме того, между 9 и 10 этапами включен этап: прогноз влияния инженерных решений на экологию производства (предприятия).

Таким образом, на основании анализа предлагаемых методологий для описания процессов коагуляции и осаждения в многофазных турбулентных потоках и сушки, нами предложена более совершенная системно-поэлементная методология исследования и экологической модернизации технологического оборудования, этапы которой не описывают специфику того или иного процесса, но вместе с тем отражают целостность и логическую последовательность проводимых исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кафаров В. В., Дорохов И. Н. Системный анализ процессов химической технологии. – М.: Наука, 1976 – 499с.
- [2] Хаппель Док., Бреннер Г. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса /Пер. с англ. под ред. Ю. А. Буевича. – М.: Мир, 1976. – 63с.
- [3] Седов Л. И. Механика сплошной среды. М.: Наука, 1970.–Т.1.–535с.–Т.2.–573с.
- [4] Кафаров В. В., Дорохов И. Н., Кольцова Э. Системный анализ процессов химической технологии /Процессы массовой кристаллизации из растворов и газовой фазы. – М.: Наука, 1983.–368с.
- [5] Ескендиров М.З. Системно-поэлементное моделирование процессов коагуляции и осаждения аэрозолей в прямоточных многофазных потоках ор-ганизованной вихревой структуры. Дисс. докт. техн. науки. – Шымкент: 2005.-300с.
- [6] Балабеков, О.С. Гидродинамика, массообмен и пылеулавливание при противоточных и прямоточных двухфазных капельных и пленочных течениях в слое подвижной насадки: дис. ...докт. техн. наук: 05.17.08: защищена 26.11.1984: утв. 26.06.1985 / Балабеков Оразалы Сатымбекович. – М., 1984. – 430 с.
- [7] Фукс Н.А. Механика аэрозолей. – М.: АН СССР, 1955. – 352с.
- [8] Грин Х., Лейн В. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы. Пер. с англ. Под ред. Н. А. Фукса. – Л.: Химия, 1968. – 428с.
- [9] Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика. – М.: Физматгиз, 1959. – 700с.
- [10] Фукс Н.А. Успехи механики аэрозолей. Итоги науки, химические науки, № 5. – М.: АН СССР, 1961. – 160с.
- [11] Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. – М.: Наука, 1980. – 176с.
- [12] Волощук В.М., Седунов Ю.С. Процессы коагуляции в дисперсных системах. – Л.: Гидрометиздат , 1975. – 157с.
- [13] Torobin L.B., Gauvin W.N. Multiparticle behaviour in turbulent fluids //Canad. J. Chem. Eng. – 1961. – Vol. 39, №2. – P.113-120.
- [14] Бабуха Г.Л., Шрайбер А. А. Взаимодействие частиц полидисперсного материала в двухфазных потоках. – Киев: Наукова думка, 1972. – 175с.
- [15] Баренблatt Г. И. О движении взвешенных частиц в турбулентном потоке //Прикл. мат. и мех. – 1953. – т. 17, №3. – С. 261–274.
- [16] Медников Е.П. Акустическая коагуляция и осаждение аэрозолей. – М.:АН СССР, 1963. – 264с.

- [18] Ужов В.Н., Вальдберг А.Ю. Подготовка промышленных газов к очистке. – М.: Химия, 1975. – 216с.
- [19] Балабеков, М.О. Методология экологической модернизации технологического оборудования на примере сушильного барабанного агрегата. дис. ...канд.техн.наук: 25.00.36: защищена 18.11.2010: утв. 21.12.2011 / Балабеков Мади Оразалыулы. – Тараз, 2010. – 300с.
- [20] Алтухов, А.В. Системно-поэлементная методология исследования и расчета экологически совершенного агрегата / А.В. Алтухов, М.О. Балабеков //Materiály IX mezinárodnívědecko – praktická konference «Vědeckýpokroknaprělomutysyachalety – 2013». - Díl 38. Technickévědy: Praha. PublishingHouse «Education and Science». -2013 – S. 41-46.
- [21] Дзюбенко, Б.Ф. Интенсификация тепло- и массообмена на макро, - микро – и наномасштабах / Б.Ф. Дзюбенко [и др.]. –М.: ЦНИИАТОМИНФОРМ, 2008. -532с.

REFERENCES

- [1] Kafarov V. V., Dorohov I. N. Sistemnyj analiz processov himicheskoy tehnologii. – M.: Nauka, 1976 – 499s.
- [2] Happel' Dok., Brenner G. Gidrodinamika pri malyh chislah Rejnol'dsa /Per.s angl. pod red. Ju. A. Buevicha. – M.: Mir, 1976. – 63s.
- [3] Sedov L. I. Mehanika sploshnoj sredy. M.: Nauka, 1970.–T.1.–535s.–T.2.–573s.
- [4] Kafarov V. V., Dorohov I. N., Kol'cova Je. Sistemnyj analiz processov himicheskoy tehnologii /Processy massovoj kristallizacii iz rastvorov i gazovoj fazy. – M.: Nauka, 1983.–368s.
- [5] Eskendirov M.Z. Sistemno-pojelementnoe modelirovanie processov koagulacii i osazhdelenija ajerozolej v prjamotochnyh mnogofaznyh potokah or-ganizovannoj vihrevoj struktury. Diss. dokt. tehn. nauki. – Shymkent: 2005.-300s.
- [6] Balabekov, O.S. Gidrodinamika, massoobmen i pyleulavlivanie pri protivotochnyj i prjamotochnyj dvuhfaznyh kapel'nyh i plenochnyh techenijah v sloe podvizhnoj nasadki: dis. ...dokt. tehn. nauk: 05.17.08: zashhishhena 26.11.1984: utv. 26.06.1985 / Balabekov Orazaly Satymbekovich. – M., 1984. – 430 s.
- [7] Fuks N.A. Mehanika ajerozolej. – M.: AN SSSR, 1955. – 352s.
- [8] Grin H., Lejn V. Ajerozoli – pyli, dymy i tumany. Per. s angl. Pod red. N. A. Fuksa. – L.: Himija, 1968. – 428s.
- [9] Levich V. G. Fiziko-himicheskaja gidrodinamika. – M.: Fizmatgiz, 1959. – 700s.
- [10] Fuks N.A. Uspehi mehaniki ajerozolej. Itogi nauki, himicheskie nauki, № 5. – M.: AN SSSR, 1961. – 160s.
- [11] Mednikov E.P. Turbulentnyj perenos i osazhdelenie ajerozolej. – M.: Nauka, 1980. – 176s.
- [12] Voloshhuk V.M., Sedunov Ju.S. Processy koagulacii v dispersnyh sistemah. – L.: Gidrometizdat , 1975. – 157s.
- [13] Torobin L.B., Gauvin W.N. Multiparticle behaviour in turbulent fluids //Canad. J. Chem. Eng. – 1961. – Vol. 39, №2. – P.113-120.
- [14] Babuha G.L., Shrajber A. A. Vzaimodejstvie chastic polidispersnogo materiala v dvuhfaznyh potokah. – Kiev: Naukova dumka, 1972. – 175s.
- [15] Barenblatt G. I. O dvizhenii vzveshennyh chastic v turbulentnom potoke //Prikl. mat. i meh. – 1953. – t. 17, №3. – S. 261–274.
- [16] Mednikov E.P. Akusticheskaja koagulacija i osazhdelenie ajerozolej. – M.:AN SSSR, 1963. – 264s.
- [18] Uzhov V.N., Val'dberg A.Ju. Podgotovka promyshlennyh gazov k ochistke. – M.: Himija, 1975. – 216s.
- [19] Balabekov, M.O. Metodologija jekologicheskoy modernizacii tehnologicheskogo oborudovaniya na primere sushil'nogo barabannogo agregata. dis. ...kand.tehn.nauk: 25.00.36: zashhishhena 18.11.2010: utv. 21.12.2011 / Balabekov Madi Orazalyuly. – Taraz, 2010. – 300s.
- [20] Altuhov, A.V. Sistemno-pojelementnaja metodologija issledovanija i rascheta jekologicheski sovershennogo agregata / A.V. Altuhov, M.O. Balabekov //Materiály IX mezinárodnívědecko – praktická konference «Vědeckýpokroknaprělomutysyachalety – 2013». - Díl 38. Technickévědy: Praha. PublishingHouse «Education and Science». -2013 – S. 41-46.
- [21] Dzjubenko, B.F. Intensifikacija тепло- и массообмена на макро, - микро – и nanomasshtabah / B.F. Dzjubenko [i dr.]. –M.: CNIIATOMINFORM, 2008. -532s.

А.Н. Исаева, Б.Н. Корганбаев, А.А. Волненко, Д.К. Жумадуллаев
М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан
e.mail: niim_m@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЖАБДЫҚТЫ ЗЕРТТЕУДІН ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МОДЕРНИЗАЦИЯЛАУДЫҢ ЖҮЙЕЛІК-ЭЛЕМЕНТТІК ӘДІСНАМАСЫН ӘЗІРЛЕУ

Андратпа. Технологиялық процестерді талдау, есептеу, оңтайлы жобалау және басқару мәселелерін шешу үшін жүйелік-элементтік әдістеме қуатты жүйелік-логикалық және формальды-математикалық аппарат болып табылады. Бұл әдіс көп фазалы турбулентті ағындардағы коагуляция және тұндыру процестерін сипаттау үшін жасалды. Жүйелік талдау тұргысынан ол үш кезеңді қамтиды: физика-химиялық жүйенің (ФХЖ) құрылымын сапалы талдау; физика-химиялық әсерлердің функционалдық схемасының құрылымын синтездеу; эксперименттік деректер бойынша жүйенің параметрлерін сәйкестендіру және бағалау. Физика-химиялық әсерлер мен құбылыстардың жиынтығын қарастыра отырып, алты түрі белгілі - молекулалық деңгейдегі құбылыстардан аппараттағы гидродинамикалық жағдайды анықтайдын процестер жиынтығына дейін. Жалпы жағдайға жақын, болашакта экологиялық таза агрегатты құруға арналған және проблеманы тұжырымдаудан бастап, бастапқы деректерді тандаудан бастап, жобалау тапсырмасына дейін 10 кезеңнен тұратын жүйелік-элементтік әдістеме ұсынылды. Біз технологиялық жабдықты зерттеудін және экологиялық модернизациялаудың жетілдірілген жүйелік-элементтік әдістемесін ұсындық, оның кезеңдері белгілі бір процестің ерекшелігін сипаттамайды, бірақ сонымен бірге зерттеулердің тұтастығы мен логикалық дәйектілігін көрсетеді.

Негізгі сөздер: жүйелік талдау, жүйелік элемент әдістемесі, кезеңдері, зерттеу, экологиялық модернизация, коагуляция процесі, тұндыру процесі, кептіру процесі.

A.N. Issayeva, B.N. Korganbayev, A.A. Volnenko, D.K. Zhumadullayev
South Kazakhstan university after named M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan
e.mail: niim_m@mail.ru

DEVELOPMENT OF A SYSTEM-ELEMENT METHODOLOGY FOR RESEARCH AND ENVIRONMENTAL MODERNIZATION OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

Abstract. For solving problems of analysis, calculation, optimal design and control of technological processes, a powerful system-logical and formal-mathematical apparatus is the system-element methodology. This methodology has been developed to describe the processes of coagulation and sedimentation in multiphase turbulent flows. From the standpoint of systems analysis, it includes three stages: qualitative analysis of the structure of the physicochemical system (PCS); synthesis of the structure of the functional diagram of physical and chemical effects; identification and evaluation of system parameters based on experimental data. Considering the totality of physicochemical effects and phenomena, six types were identified - from phenomena at the molecular level to the totality of processes that determine the hydrodynamic situation in the apparatus as a whole. Approximately to the general case, in the future, a system-element methodology was proposed, designed to create an ecologically perfect unit and including 10 stages, starting with the formulation of the problem and the choice of initial data and ending with the design task. We have proposed a more advanced system-element methodology for research and environmental modernization of technological equipment, the stages of which do not describe the specifics of a particular process, but at the same time reflect the integrity and logical sequence of the research.

Keywords: system analysis, system-element methodology, stages, research, environmental modernization, coagulation process, sedimentation process, drying process.

А.А. Копесбаева, М.Ю. Мачковский, Е.С. Ким
ТОО «SiTraining», Алматы, Казахстан
e-mail: aak@sitraining.kz

О СОЗДАНИИ ЕДИННОГО ЦЕНТРА КОМПЕТЕНЦИЙ

Аннотация. Предлагается конструктивное решение взаимодействия образовательных учреждений с производственными предприятиями на базе соединения научных, образовательных и материально-технических возможностей в единый центр компетенций. Создание единого центра компетенций позволит интегрировать усилия образования, науки и производства для проведения исследований, оперативного решения научно-технических проблем, создания новых решений в сфере автоматизации, электронного приборостроения, телекоммуникационных и информационных технологий. Проект создания и развития единого центра компетенций станет многоуровневой интеллектуальной системой для решения актуальных проблем производства, для подготовки высококвалифицированных специалистов, отвечающих современным требованиям мирового рынка, станет современной научно-исследовательской площадкой для молодых ученых, специалистов различных областей производства Казахстана и мира, выпускников учебных заведений, преподавателей ВУЗов. Результаты работы ЕЦК позволят увеличить эффективность производства, повысить уровень квалификации специалистов всех областей, развить научно-техническую базу, а также внести огромный вклад в развитие Казахстана.

Ключевые слова: автоматизация, управление, компетенция, образование, академическая программа.

Введение. Данные исследования посвящены вопросам решения проблем обеспечения связи технического образования в Казахстане с реальными производственными изменениями, приближения проблем производства к научному сообществу, согласованию потребностей производства с образовательными программами образования. Соответственно актуальность рассматриваемых в статье предложений состоит в следующем:

- Проблемы исследования современных систем автоматизации требуют наличия соответствующих инженерных центров компетенций с мульти дисциплинарным содержанием.
- Новые формы научного сотрудничества с представительствами зарубежных фирмы производителей техники (например, Siemens) требуют новых подходов при создании исследовательской площадки
- Переход высшего образования в странах постсоветского пространства на новую форму многоуровневого образования
- Необходимость быстрого и своевременного обновления научно-технической базы для подготовки квалифицированных кадров

Цель создания единого центра компетенций (ЕЦК):

Интегрировать усилия образования, науки и производства для проведения исследований, оперативного решения научно-технических проблем, создания новых решений в сфере автоматизации, электронного приборостроения, телекоммуникационных и информационных технологий

Достижение поставленной цели поэтапно приблизит решение следующих задач:

- Построение многоуровневой интеллектуальной системы автоматического обмена решениями, новыми технологиями, информационными ресурсами.
- Создание интеллектуальной системы сбора, обработки и хранения данных в единую библиотеку решений.
- Создание информационной платформы для оперативного интегрирования знаний и навыков в различных областях науки.

- Создание интеллектуальной системы автоматического оформления научных проектов, решений и заявок на решения.
- Создание технического обеспечения, предусматривающего все современные классы аппаратного и программного обеспечения
- Создание площадок для апробации научных выкладок магистерских и докторских диссертаций

Материалы и методы. Компания ТОО «SiTraining» является официальным партнером компании ТОО «Siemens Kazakhstan» в области образования. Курсы повышения квалификации инженерного персонала производственных предприятий Казахстана зарекомендовали себя своей эффективностью и реальными результатами. Все занятия, проводимые по специализированной методике в лабораторных классах компаний, оснащенном новейшим оборудованием поддерживаются высокой квалификацией преподавателей. Одним из направлений деятельности компании ТОО «SiTraining» является создание Единого Центра Компетенций.

Построение многоуровневой интеллектуальной системы автоматического обмена решениями [1] новыми технологиями, информационными ресурсами предполагает создание многослойной информационной структуры, содержащей следующие уровни участников:

- Уровни пользователей для информационной поддержки.
- Уровень ученого совета ЕЦК.
- Уровень пользователей научных ресурсов.
- Уровень трудоустройства выпускников.
- Уровень проектировщиков.
- Уровень постановки задач и проблем.

В результате деятельности ЕЦК будет создана интеллектуальная системы сбора, обработки и хранения данных в *единую библиотеку решений*. Единая библиотека решений создается автоматически информационными ресурсами портала и может быть обсужден Ученым советом ЕЦК.

Еще одним результатом деятельности ЕЦК станет создание *информационной платформы для оперативного интегрирования знаний и навыков в различных областях науки*. Данная платформа уже создана и начинает внедряться силами компаний партнеров Siemens, корректируется и управляет ЕЦК.

Следующим результатом деятельности ЕЦК должно стать создание *интеллектуальной системы автоматического оформления научных проектов, решений и заявок на решения*. Данная составляющая является частью уровня проектировщиков, включает в себя инструменты САПР и интеллектуальных продуктов фирмы Siemens.

Важным результатом деятельности ЕЦК должно стать создание *технического обеспечения*, предусматривающего все современные классы аппаратного и программного обеспечения. Техническое оснащение ЕЦК формируется автоматически по мере включения участников в ЕЦК, возникает на базе лабораторий ВУЗов, учебных центров, производственных площадок. Поддерживается академическими программами [3-7] ведущих компаниями в области автоматизации, информационных технологий и электроники.

Немаловажным результатом такого подхода является создание площадок для апробации научных выкладок магистерских и докторских диссертаций. ЕЦК поможет реально апробировать результаты научной деятельности магистрантов и докторантов и этот факт особенно важен для тематик, которые выполняются на стыке нескольких наук. Ученое сообщество согласится с тем, что современные научные работы выполняются в основном на стыке наук [8-12]. Координация действия ВУЗов разных направлений создает возможность для реальной апробации научных выкладок и заявляемой новизны работ молодых ученых.

На рисунке 1 показана структура ЕЦК и ее взаимодействие с остальными структурами.

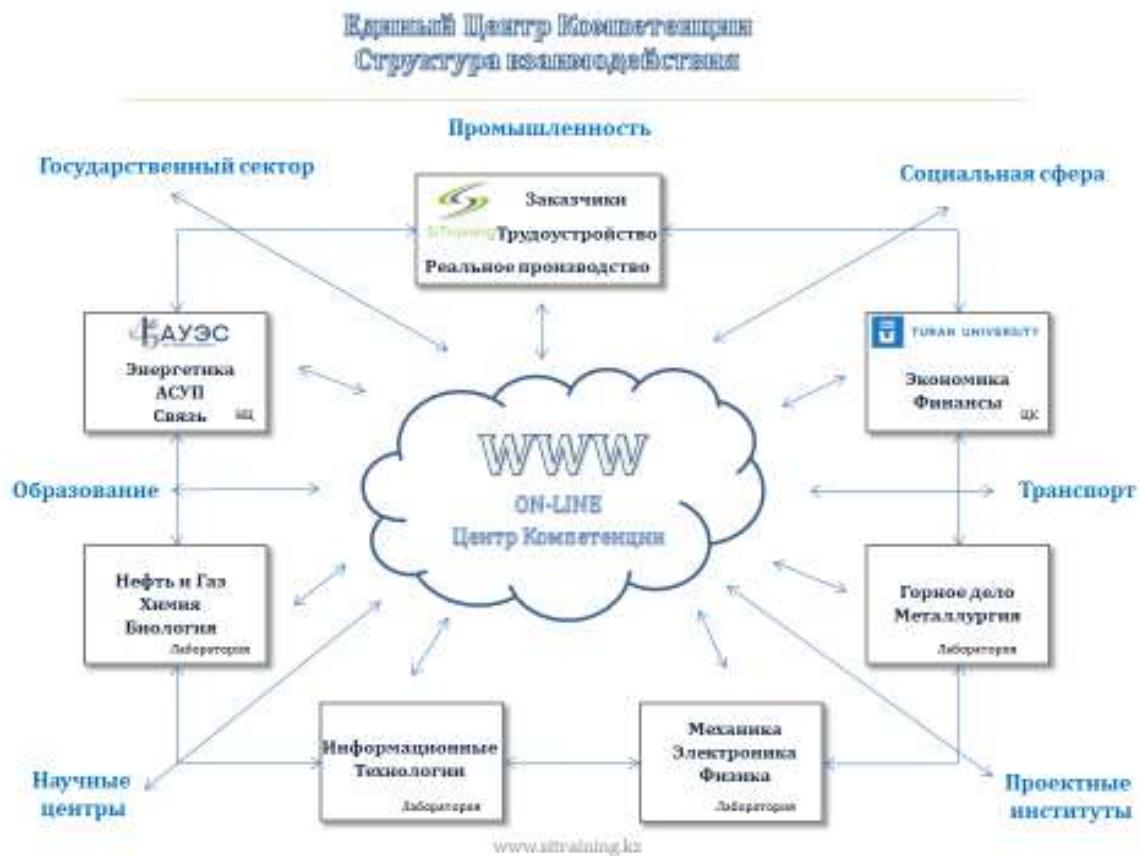


Рисунок 1. Структура единого центра компетенций

Создание ЕЦК отвечает требованиям производственных компаний. На настоящий момент производство Казахстана находится на стадии роста, создание новых и модернизации существующих предприятий. Возникающие в связи с этим задачи научных изысканий [8-12], аналитического анализа, предпроектных работ требуют пересмотра структуры предприятия, необходимость поиска кадров новых компетенций [8-12], создание площадок оперативного решения проблем. Сотрудничая с предприятиями, бизнес сообществом, и вендерами оборудования компания SiTraining приняла участие в нескольких реальных проектных работах. Именно эта деятельность привела к появлению решения о создании центра компетенций. На рисунке 2 изображена схема движения потоков данных и информации, которая характеризует явную выгоду в совместной деятельности всех ВУЗов, бизнес среды и предпринимательства, производственных предприятий, проектных организаций в координации через ЕЦК.

На рисунке 2 указано, что при появление проектной технической задачи предприятие выставляет заявку на платформе ЕЦК данная заявка обрабатывается членами Ученого Совета ЕЦК для направления ее на принятие решений согласно требуемой компетенции. В ходе принятия решения привлекаются как ученая среда, так и обучающиеся учебных заведений. Таким образом формируется новая компетентостная среда в конкретной области техники. Обучающийся, получая навыки деятельности, естественным образом решает проблему своего трудоустройства. Заявки подобным образом могут поступать от участников бизнес сообщества, от руководителей проектных работ из ВУЗов, от частных лиц.

Немаловажно техническое оснащение ЕЦК. На настоящий момент оно формируется из существующих производственных площадок предприятий, лабораторий учебных заведений, лабораторий компаний вендоров. Прямое участие производителей оборудование постоянно пополняется предложениями от вендоров, оперативной информацией о новых лабораториях

участников ЕЦК. Крупные зарубежные вендоры, такие как Siemens строят свою деятельность придерживаясь концепции единства образования с производством. Свидетельство тому академические программы, которые предполагают поставку нового оборудования и программного обеспечения в учебные заведения со скидкой или даже бесплатно. Это дает возможность подготовить для новой серии оборудования новых компетентных специалистов, а это значит обеспечить продажу его на рынке. ЕЦК, начав сотрудничество с фирмой Siemens, уже начала отрабатывать этот подход предлагая участие в академических программах ВУЗов Казахстана.

Государственные программы и стратегические направления деятельности прямым образом влияют на эффективность научной и компетентностной деятельности ЕЦК. Это происходит как через финансирование прикладных, наукоемких и фундаментальных проектов, так и через средства бизнеса и производства. Финансирование решений немаловажный фактор в деятельности ЕЦК и информационная платформа ЕЦК призвана автоматизировать участие всех членов ЕЦК в конкурсах и тендерах.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kim Y., Kopesbayeva A., Machkovskiy M. Investigation of the general concept of the implementation of automation and digitalization tasks for production processes using innovative high-level solutions. V INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE SUMMER SESSION. INDUSTRY 4.0. Jun 2020, Volume 1/8.
- [2] Аксенова М. А. Центр компетенций как образовательный ресурс подготовки высококвалифицированных специалистов // Профессиональное образование и рынок труда. — 2017. — № 4. — С. 18–24.
- [3] Аксенова М.А. Аспекты развития социально-педагогических компетенций, повышающих эффективность труда инженеров // Социальная педагогика в России. — 2016. — № 3. — С. 12–17.
- [4] Ломакина Т.Ю. Научно обоснованные выводы и рекомендации прогнозного характера для оптимизации процессов программной реструктуризации и развития профессиональных образовательных учреждений: Материалы международной научно-практической конференции «Непрерывное эколого-экономическое образование: проблемы и перспективы развития». — Тверь: Издательство «Триада». — 2013. — С. 346–348.
- [5] Морозов А.Н. Научно образовательные центры: к новой парадигме инженерного образования // Высшее образование в России. — 2015. — № 4. — С. 79–86.
- [6] Анисимова Варвара Дмитриевна. НОВЫЕ ВЫЗОВЫ И ИНСТРУМЕНТЫ ПОДГОТОВКИ РАБОЧИХ КАДРОВ В СИСТЕМЕ СПО. Azimuth of Scientific Research: Pedagogy and Psychology. 2018. Т. 7. № 4(25), с. 28-30.
- [7] Галанина М.А. Проблемы повышения качества подготовки будущих специалистов в условиях межрегионального центра компетенций // Среднее профессиональное образование. 2017. № 1. С.3.
- [8] Листвин А.А. Антиномии современного среднего профессионального образования // Образование и наука. Том 19. № 1. 2017 /The Education and science journal. Vol. 19. no. 1. 2017. С. 113.
- [9] Романченко М. К. Повышение качества образования как результат эффективной научно-методической работы // Профессиональное образование в России и за рубежом. 2017. № 1 (25). С. 139.
- [10] Дорожкин Е.М., Лыжин А.И., Табаков Л.С. Применение информационных технологий в процессе подготовки мастеров производственного обучения // Научный диалог. 2016. №3 (51). С. 281-290.
- [11] Платонова Р.И., Воронов В.В. Технология обучения: от уточнения понятий к практике // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. 2015. № 1 (85). С. 162-166.
- [12] Попов К.В. Дуальная подготовка квалифицированных кадров в сфере автомобиль транспорта в соответствии с профессиональными стандартами и стандартами World Skills. // Учебный год. 2018. № 1 (50). С. 82 – 84.

REFERENCES

- [1] Kim Y., Kopesbayeva A., Machkovskiy M. Investigation of the general concept of the implementation of automation and digitalization tasks for production processes using innovative high-level solutions. V INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE SUMMER SESSION. INDUSTRY 4.0. Jun 2020, Volume 1/8.
- [2] Aksanova M. A Competence Center as an educational resource for training highly qualified specialists // Professional education and labor market. - 2017. - No. 4. - P. 18-24.
- [3] Aksanova M. A. Aspects of the development of social and pedagogical competencies that increase the efficiency of engineers' labor // Social pedagogy in Russia. - 2016. - No. 3. - P. 12-17.
- [4] Lomakina T.Yu. Scientifically based conclusions and forecasting recommendations for optimizing the processes of program restructuring and development of professional educational institutions: Materials of the international scientific and practical conference "Continuous environmental and economic education: problems and development prospects." - Tver: Triada Publishing House. - 2013. - S. 346–348.
- [5] Morozov A.N. Scientific educational centers: towards a new paradigm of engineering education // Higher education in Russia. - 2015. - No. 4. - P. 79–86.
- [6] Anisimova Varvara Dmitrievna. NEW CHALLENGES AND TOOLS FOR TRAINING PERSONNEL IN THE SPE SYSTEM. Azimuth of Scientific Research: Pedagogy and Psychology. 2018. Vol. 7.No. 4 (25), p. 28-30.
- [7] Galanina M.A. Problems of improving the quality of training of future specialists in the conditions of an interregional center of competence // Secondary vocational education. 2017. No. 1. P.3.
- [8] Listvin A.A. Antinomies of modern secondary vocational education // Education and Science. Volume 19.No 1.2017 / The Education and science journal. Vol. 19.no. 1.2017, p. 113.
- [9] Romanchenko MK Improving the quality of education as a result of effective scientific and methodological work // Professional education in Russia and abroad. 2017. No. 1 (25). P. 139.
- [10] Dorozhkin E.M., Lyzhin A.I., Tabakov L.S. Application of information technologies in the process of training industrial training masters // Scientific dialogue. 2016. No. 3 (51). S. 281-290.
- [11] Platonova R.I., Voronov V.V. Teaching technology: from clarifying concepts to practice // Bulletin of the Chuvash State Pedagogical University named after AND I. Yakovleva. 2015. No. 1 (85). S. 162-166.
- [12] Popov K.V. Dual training of qualified personnel in the field of car transport in accordance with professional and World Skills standards. // Academic year. 2018. No. 1 (50). P. 82 – 84.

А.А. Қөпесбаева, М.Ю. Мачковский, Е.С. Ким

ЖШС «SiTraining», Алматы, Қазақстан

e-mail: aak@sitraining.kz

БІРІККЕН ҚҰЗЫРЕТТЕР ОРТАЛЫҒЫН ҚҰРУ ТУРАЛЫ

Андратпа. Ғылыми, оқу және материалдық-техникалық мүмкіндіктерді бір құзырет орталығына біріктіру негізінде білім беру мекемелерінің өндірістік кәсіпорындармен өзара әрекеттесуі үшін конструктивті шешім ұсынылады. Біріккен құзыреттер орталығын құру білім беру, ғылым мен өндірістің зерттеулерге қүштерін біріктіруге, ғылыми-техникалық мәселелерді жедел шешуге, автоматика, электронды приборлар, телекоммуникация және ақпараттық технологиялар саласында жаңа шешімдер жасауга мүмкіндік береді. Біртұтас құзыреттілік орталығын құру және дамыту жобасы жедел өндірістік мәселелерді шешудің, әлемдік нарықтың заманауи талаптарына жауап беретін жоғары білікті мамандарды даярлаудың көп деңгейлі интеллектуалды жүйесіне айналады, жас ғалымдар үшін, Қазақстандағы және әлемдегі әр түрлі өндіріс саласының мамандары үшін, оқу орындарының түлектері үшін, университет оқытушылары үшін заманауи зерттеу алаңына айналады. Қарастырылған орталықтың жұмысының нәтижелері өндірістің тиімділігін арттыруға, барлық салалардағы мамандардың біліктілігін арттыруға, ғылыми-техникалық базаны дамытуға, сондай-ақ Қазақстанның дамуына орасан зор үлес қосуға мүмкіндік береді.

Негізгі сөздер: автоматтандыру, басқару, құзыреттілік, білім, академиялық бағдарлама.

A.A. Kopesbayeva, M. Machkovskiy, E. Kim
LLP «SiTraining», Almaty, Kazakhstan
e-mail: aak@sitraining.kz

ABOUT CREATION OF A UNIFIED CENTER OF COMPETENCES

Abstract. A constructive solution is proposed for the interaction of educational institutions with industrial enterprises based on the combination of scientific, educational and material and technical capabilities into a single center of competence. The creation of a single center of competence will allow integrating the efforts of education, science and industry for research, prompt solution of scientific and technical problems, creation of new solutions in the field of automation, electronic instrumentation, telecommunications and information technologies. The project for the creation and development of a single center of competence will become a multi-level intellectual system for solving urgent production problems, for training highly qualified specialists who meet the modern requirements of the world market, will become a modern research platform for young scientists, specialists in various fields of production in Kazakhstan and the world, graduates of educational institutions, university teachers. The results of the work of the ECC will make it possible to increase the efficiency of production, improve the qualifications of specialists in all fields, develop a scientific and technical base, and also make a huge contribution to the development of Kazakhstan.

Keywords: Automation, management, competence, education, academic program.

П.В. Бойкачев, А.А. Ержан*, И.А. Дубовик, В.О. Исаев, А.А. Сутько

Военная академия Республики Беларусь

*e-mail: a.erzhan@aues.kz

МЕТОДИКА СИНТЕЗА АДАПТИВНЫХ СОГЛАСУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ АНТЕНН UHF/VHF ДИАПАЗОНА

Аннотация. Основные преимущества (30–512 МГц) диапазонов – большая дальность связи, особенно используемая за городом. Радиостанции таких диапазонов отлично работают как в мало пресечённой местности, так и в условиях многоэтажной застройки. В радиостанциях используются широкополосные согласующие устройства (ШСУ), обеспечивающие передачу максимальной мощности сигнала от источника в нагрузку. Они, как правило, оптимальны для комплексных нагрузок с фиксированными значениями параметров. Следует отметить, что импеданс нагрузки, в той или иной степени, изменяется во времени. По этой причине ШСУ обычно не является в строгом смысле оптимальным. Параметры согласуемой радиотехнической системы (РТС) с ШСУ несколько отличаются от оптимальных значений. Это говорит о том, что используемые ШСУ являются квазиоптимальными. В статье предложена методика синтеза широкополосных согласующих устройств, адаптирующих радиотехнические системы к изменяющемуся импедансу нагрузки.

Ключевые слова: адаптация, согласующее устройство, радиоавтоматика, широкополосные устройства.

Введение. Радиосвязь в настоящее время имеет большое значение в вопросах повседневной жизнедеятельности человека. Портативные, автомобильные и стационарные радиостанции успешно используются в строительной отрасли, в службах безопасности, а также в других областях деятельности людей, где требуется дешёвая и простая двухсторонняя связь. Так для обеспечения и организации связи, широкое применение получили радиостанции UHF/VHF диапазона, позволяющие функционировать в широком диапазоне частот (30–512 МГц) [1, с. 5–8]. К примеру, в ранее опубликованной работе [2] было установлено, что штатное ШСУ в антенных устройствах (АУ) AD-44/CW-TA-30-512 и AD-25/CW-3512 [3, 4] не способно обеспечить требуемый уровень передачи мощности в различных условиях эксплуатации. Таким образом, возникает необходимость в создании методики реализации ШСУ адаптивных, к изменяющемуся импедансу РТС.

1. Постановка задачи. Для реализации РТС, характеристики которой будут стремиться к оптимальным в процессе эксплуатации (в рамках передачи мощности между каскадами РТС) предлагается использовать системы радиоавтоматики. Данные системы функционируют на основе автоматического измерения и дальнейшего преобразования входного сигнала, в качестве которого могут использоваться импедансные характеристики согласуемых нагрузок. В качестве исполнительного устройства предлагается использовать адаптивные ШСУ, характеристики которых будут изменяться в процессе работы РТС, тем самым оптимизируя систему. Создание подобных устройств требует четкого описания возмущающего воздействия. Для создания адекватной модели возмущающего воздействия, целесообразно провести экспериментальные исследования по оценке влияния изменений условий эксплуатации радиотехнической системы на импедансные характеристики согласуемой нагрузки. Предлагаемый эксперимент позволит определить статические характеристики возмущающих воздействий, действующих на проектируемую систему.

Вместе с этим необходимо сформулировать назначение системы и, на основании заданных технических требований к качеству работы системы, выбрать критерии оптимальности. Также, необходимо найти оптимальную передаточную функцию проектируемой системы и уточнить способы включения устройств адаптации. На конечном этапе реализации системы адаптации следует разработать исполнительное устройство (ШСУ),

присоединение которого к объекту управления позволит получить систему с оптимальной передаточной функцией.

1. Создание модели возмущающего воздействия.

Рассмотрим создание модели возмущающего воздействия на примере широкополосных АУ AD-44/CW-TA-30-512 и AD-25/CW-3512, работающих в VHF/UHF диапазонах. Внешний вид антенн представлен на рисунке 1. Антенны гарантируют работу различных радиостанций в диапазонах частот 30-512 МГц, согласованные на линию с сопротивлением 50 Ом [3, 4] и обеспечивают обмен информацией в различных условиях эксплуатации радиостанций VHF/UHF диапазона.

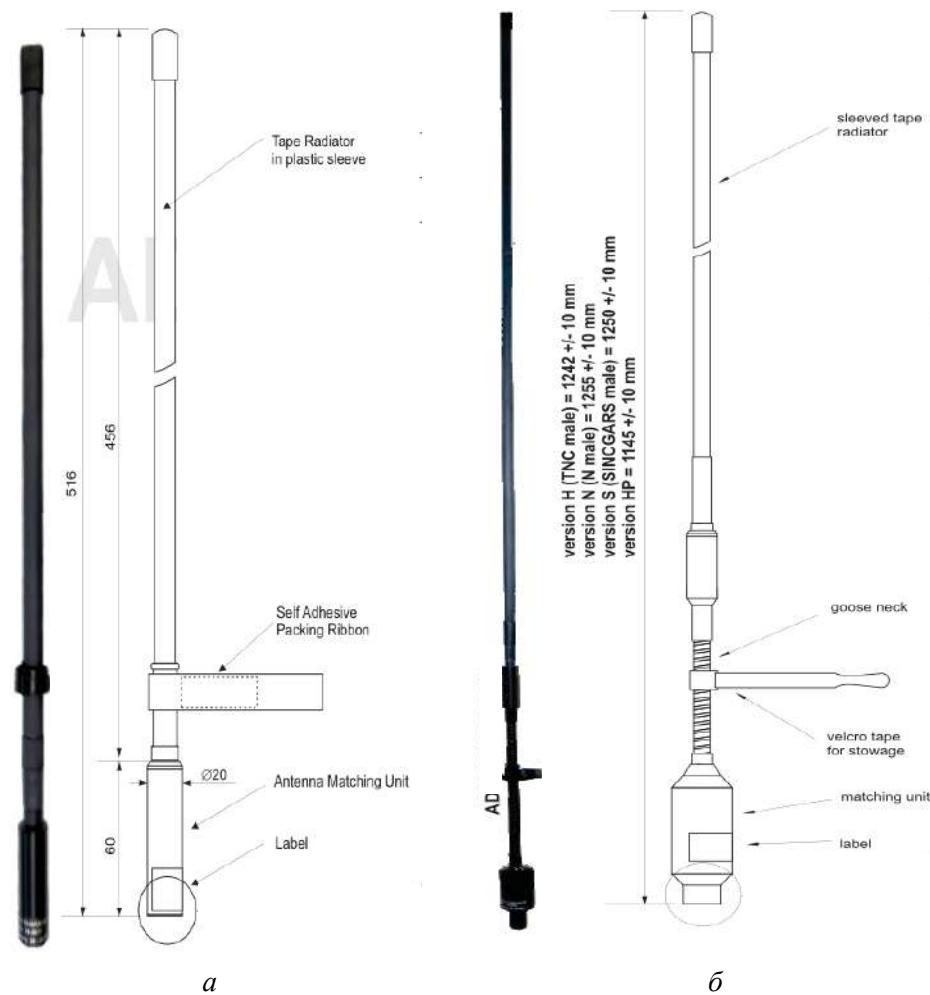


Рисунок 1. Антенные устройства: а) AD-44/CW-TA-30-512, б) AD-25/CW-3512

Экспериментальные исследования проведены согласно [5, 6] в различных условиях эксплуатации радиостанций: в помещении (в условиях многоэтажной застройки), в лесном массиве, в непосредственной близости с техникой (имитация работы вблизи техники), а также в безэховой камере для получения эталонных значений комплексного сопротивления АУ. Подробный порядок проведение эксперимента описан в [2].

В результате экспериментальных исследований было выявлено следующее:

1. Изменение условий эксплуатации приводит к существенному изменению импеданса рассматриваемых АУ относительно эталонного значения (рисунок 2,3).

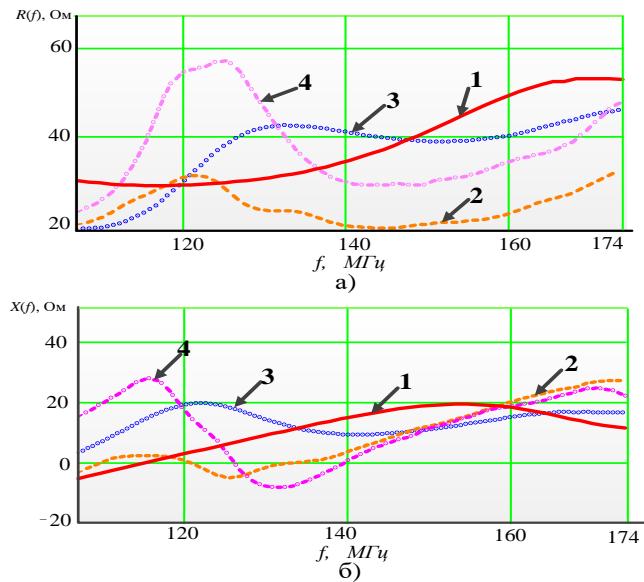


Рисунок 2. Зависимость изменения активной (а) и реактивной (б) частей импеданса антенны AD-44/CW-TA-30-512 в рабочей полосе частот :

- 1 – в экранированной безэховой камере; 2 – в помещении;
3 – в лесном массиве; 4 – в непосредственной близости с техникой

Значительное изменение активной составляющей импеданса АУ AD-44/CW-TA-30-512 наблюдается в помещении, а в непосредственной близости с техникой - на реактивную составляющую (рисунок 2). Для антенны AD-25/CW-3512 значительное изменение как активной, так и реактивной составляющей наблюдается в помещении (рисунок 3).

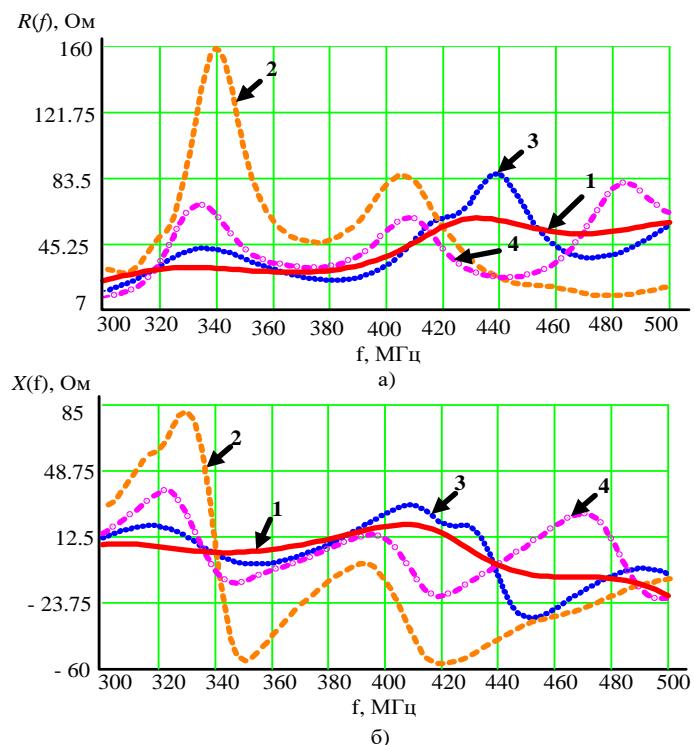


Рисунок 3. Зависимость изменения активной (а) и реактивной (б) частей импеданса антенны AD-25/CW-3512 в рабочей полосе частот:

- 1 – в экранированной безэховой камере; 2 – в помещении;
3 – в лесном массиве; 4 – в непосредственной близости с техникой

2. Существенное изменение импеданса рассматриваемых АУ (для AD-44/CW-TA-30-512, $f = 140$ – 160 МГц, для AD-25/CW-3512, $f = 310$ – 360 ; 420 – 500 МГц) приводит к изменению функции коэффициента передачи мощности (КПМ) на тех же частотах (рисунок 4).

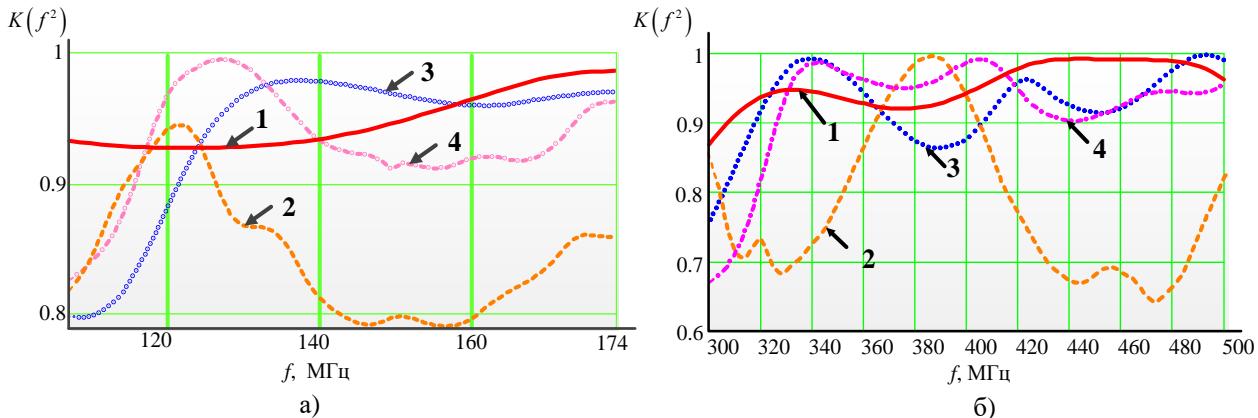


Рисунок 4. Зависимость КПМ антенны AD-44/CW-TA-30-512 (а) и антенны AD-25/CW-3512 (б):

1 – в экранированной безэховой камере; 2 – в помещении;
3 – в лесном массиве; 4 – в непосредственной близости с техникой

Следует отметить, что модели импедансных характеристик были реализованы по методике, представленной в [7].

Исходя из результатов экспериментальных исследований, целесообразно оценить, как будут изменяться технические характеристики радиостанций в рассматриваемых условиях их эксплуатации. А также определить технические требования к адаптивной РТС.

Одной из характеристик радиостанций является потенциально достижимая дальность действия радиолинии [6], которая определяется

$$R_{\max} = \sqrt{\frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{\Delta f (4\pi)^2 N_a}}, \quad (1)$$

где $P_t = P_0 K$ – мощность передаваемая передатчиком в антенну;

K – коэффициент передачи мощности;

P_0 – мощность передатчика;

G_t – коэффициент усиления антенны передатчика;

G_r – коэффициент усиления антенны приемника;

λ – длина волны;

Δf – ширина спектра сигнала;

N_a – спектральная плотность мощности сигнала.

Из выражения (1) следует, что снижение КПМ рассматриваемых АУ (рисунок 4) приводит к снижению мощности отдаваемой передатчиком в антенну и уменьшает потенциально достижимую дальность действия радиолинии на 15,8...22,17%. Наличие штатного ШСУ не позволяет обеспечить постоянный, максимально достижимый уровень КПМ в рабочем диапазоне частот в различных условиях эксплуатации. В связи с этим, для обеспечения заданного уровня КПМ в различных условиях обстановки предлагается реализовать инвариантность ШСУ к изменению импеданса нагрузки. Данный подход позволит обеспечить предъявляемые требования к потенциально достижимой дальности действия радиолинии (в рамках передачи мощности при согласовании приёмо-передающих модулей и антennы). Для реализации данного подхода необходимо предъявить конкретные

требования к ШСУ и задать критерий оптимальности синтеза ШСУ на основе аппарата инварианта чувствительности.

2. Критерий синтеза широкополосных согласующих устройств на основе аппарата инварианта чувствительности.

Зададим требования к уровню передачи мощности от передатчика к антенне в рабочем диапазоне частот. Он должен быть, в среднем, не хуже уровня, обеспечивающегося штатным ШСУ в полосе рабочих частот. В тоже время адаптивное ШСУ должно обеспечивать минимум чувствительности к вариациям импеданса антенны.

Для синтеза ШСУ, позволяющего обеспечить уровень КПМ не хуже требуемого, при наличии изменяющегося импеданса нагрузки необходимо оценить степень влияния вариации импеданса нагрузки на уровень КПМ. Представим комплексное сопротивление нагрузки $Z_H(f)$ в качестве ряда параметров $\{x_i\}$ ($i = 1, 2, \dots, M$) от которого зависит некоторая функция $D(x_i)$, описывающая частотную характеристику ШСУ. Отклонение функции от номинального значения $\Delta D = D(x_i + \Delta x_i) - D(x_i)$, вызванное изменением параметра $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_M$, определяется соответствующим разложением в ряд Тейлора [10, с. 14–15]. Для линеаризованного случая (пренебрегаем производными второго и более высоких порядков) разложение имеет вид

$$\Delta D = \sum_{i=1}^N S_{x_i}^D \Delta x_i, \quad (2)$$

где $S_{x_i}^D = S\{D(x_i), x_i\} = \sum_{i=1}^N \frac{\partial D(x_i)}{\partial x_i}$ – чувствительность функции $D(x)$ к изменению параметров x_i ; N – количество параметров x_i .

Выражение (2) используется для описания влияния малых отклонений, оно основано на математическом анализе [10, с. 16]. Особый интерес в данном выражении представляет чувствительность характеристики ШСУ, так как уменьшение значения данного параметра приводит к уменьшению отклонения характеристики ШСУ, а при ее фиксированном (допустимом) значении увеличивает отклонение Δx_i , при котором сохраняются требуемые значения характеристики ШСУ.

Под чувствительностью (абсолютной чувствительностью) понимают меру изменения некоторой характеристики ШСУ (функции цепи), которое произошло в результате некоторых вариаций одного или нескольких элементов ШСУ [11]. Кроме абсолютной чувствительности используют полуотносительную (выражение 3) и относительную чувствительность (выражение 4)

$$Q_{x_i}^D = Q\{D(x_i), x_i\} = \frac{\partial D(x_i)}{\partial \ln x_i} = x_i \frac{\partial D(x_i)}{\partial x_i}, \quad (3)$$

$$R_{x_i}^D = R\{D(x_i), x_i\} = \frac{\partial \ln D(x_i)}{\partial \ln x_i} = \frac{x_i}{D(x_i)} \frac{\partial D(x_i)}{\partial x_i}. \quad (4)$$

Непосредственным дифференцированием выражения (4) можно убедиться, что вещественная и мнимая части относительной чувствительности комплексной характеристики связаны с чувствительностями ее модуля и аргумента простыми соотношениями (выражение 5 и 6)

$$R_{x_i}^D = \operatorname{Re}[R\{D(x_i), x_i\}] = R\{D(x_i), x_i\}; \quad (5)$$

$$R_{x_i}^D = \operatorname{Im}[R\{D(x_i), x_i\}] = Q\{\arg D(x_i), x_i\}. \quad (6)$$

Функция КПМ определяется как отношение мощности в нагрузке к максимальной мощности, которая может быть получена генератором или же, исходя из [12, с. 8], через модуль функции коэффициента отражения.

$$K(f^2) = \frac{P_H}{P_0} = 1 - |S_{in}(f, Z_H, Z_{CQ})|^2, \quad (7)$$

где $S_{in}(f, Z_H, Z_{CQ}) = \frac{Z_H(f) - Z_{CQ}(-f)}{Z_H(f) + Z_{CQ}(f)}$ – функция коэффициента отражения (коэффициент рассогласования); $Z_H(f)$ – комплексное сопротивление нагрузки; $Z_{CQ}(f)$ – комплексное сопротивление согласующей цепи.

Выражение (7) является четной вещественной функцией, а сопротивление нагрузки является комплексной величиной, и при изменении импеданса меняется как реальная, так и мнимая составляющие сопротивления (рисунок 2, 3). В связи с этим предлагается оценивать чувствительность $S_{in}(f, Z_H, Z_{CQ})$ на изменение импеданса нагрузки. Функция $S_{in}(f, Z_H, Z_{CQ})$ является комплексной величиной и позволяет в полной мере оценить вариации как реальной, так и мнимой составляющей $Z_H(f)$. Таким образом, для обеспечения требуемого уровня КПМ при наличии варьирования импеданса нагрузки необходимо, чтобы синтезируемое ШСУ обладало свойством минимальной чувствительности функции коэффициента отражения к изменению параметров нагрузки.

Для того, чтобы ШСУ обладало свойством минимальной чувствительности функции коэффициента отражения к изменению параметров нагрузки (исходя из [10, с. 51]) необходимо минимизировать квадрат модуля относительной чувствительности.

$$|R\{S_{in}(f, Z_H, Z_{CQ})\}|^2 \rightarrow \min. \quad (8)$$

Для нахождения относительной чувствительности функции коэффициента отражения воспользуемся инвариантным свойством чувствительности. Оно показывает соответствующие соотношения, связывающие функцию чувствительности по различным параметрам типовых функций цепей [10, с. 41]. Это позволит избавиться от дифференцирования функции коэффициента отражения. Проведя некоторые преобразования, получаем квадрат модуля относительной чувствительности функции коэффициента отражения.

$$|R\{S_{in}(f, Z_H, Z_{CQ})\}|^2 = \left| \frac{2 \operatorname{Re}\{Z_{CQ}(f)\} Z_H(f)}{(Z_H(f) + Z_{CQ}(f))(Z_H(f) - Z_{CQ}(-f))} \right|^2. \quad (9)$$

Выражение (10) позволяет оценить потенциальные возможности синтезируемой ШСУ к изменению импеданса нагрузки на фиксированной частоте. Для того, чтобы оценить возможности ШСУ в диапазоне частот $f_H \leq f \leq f_B$ необходимо проинтегрировать выражение 9 по частоте. В результате чего получим

$$\int_{f_H}^{f_B} |R\{S_{in}(f, Z_H, Z_{CQ})\}|^2 df = \int_{f_H}^{f_B} \left| \frac{2 \operatorname{Re}\{Z_{CQ}(f)\} Z_H(f)}{(Z_H(f) + Z_{CQ}(f))(Z_H(f) - Z_{CQ}(-f))} \right|^2 df, \quad (10)$$

где f_H, f_B – нижняя, верхняя частоты рабочего диапазона. Так как основной задачей синтеза ШСУ является обеспечение требуемого уровня КПМ (выражение 7), то достаточно оценить лишь чувствительность модуля функции коэффициента отражения. В этом случае (исходя из выражения 2) выражение (10) принимает вид

$$\int_{f_H}^{f_B} \left| \operatorname{Re} \left[R \left\{ S_{in} (f, Z_H, Z_{\text{СЦ}}) \right\} \right] \right|^2 df = \int_{f_H}^{f_B} \left| \frac{\left(1 - |S_{in} (f, Z_H, Z_{\text{СЦ}})|^2 \right)^2 \left(|Z_H (f)|^2 - |Z_{\text{СЦ}} (f)|^2 \right)}{|S_{in} (f, Z_H, Z_{\text{СЦ}})|^2 8 \operatorname{Re} \{Z_{\text{СЦ}} (f)\} \operatorname{Re} \{Z_H (f)\}} \right|^2 df. \quad (11)$$

Таким образом, для обеспечения требуемого уровня КПМ и минимальной чувствительности функции коэффициента отражения необходимо решить систему уравнений

$$\begin{cases} \int_{f_H}^{f_B} \left(K_{\text{треб}} - \left(1 - |S_{in} (f, Z_H, Z_{\text{СЦ}})|^2 \right) \right)^2 df \leq \varepsilon \\ \int_{f_H}^{f_B} \left| \operatorname{Re} \left\{ R \left\{ S_{in} (f, Z_H, Z_{\text{СЦ}}) \right\} \right\} \right|^2 df \rightarrow \min \end{cases}, \quad (12)$$

где ε – допустимое отклонение уровня КПМ в рабочем диапазоне частот;

$K_{\text{треб}}$ – требуемый уровень КПМ.

Систему уравнений (12) можно использовать в качестве целевой функции (комплексного критерия) в сочетании с одним из существующих численных методов синтеза ШСУ.

3. Алгоритм реализации широкополосных согласующих устройств на основе аппарата инварианта чувствительности.

В качестве метода синтеза ШСУ, исходя из [12], предлагается использовать метод вещественных частот [13]. Данный метод основан на сочетании аналитического и численного подходов к задаче синтеза ШСУ. Основное преимущество данного метода состоит в том, что он не требует аппроксимации импеданса нагрузки, а также в том, что функция КПМ представляется в виде аналитического выражения. ШСУ синтезируется с помощью итеративных подходов поиска вещественной составляющей функции сопротивления.

$$R_{\text{СЦ}} (f^2) = \frac{A(f^2)}{B(f^2)} = \frac{a_0 2\pi f^{ndc} \prod_{i=1}^{n_z} (2\pi f_i^2 - 2\pi f^2)^2}{B_1 2\pi f^{2n} + B_2 2\pi f^{2(n-1)} + \dots + B_n 2\pi f^2 + 1} \geq 0, \forall f, \quad (13)$$

где $R_{\text{СЦ}} (f^2)$ – вещественная составляющая функции сопротивления согласующей цепи;

ndc – количество нулей передачи на нулевой частоте;

n_z – количество нулей на фиксированных частотах;

f_i – ноль передачи на фиксированной частоте;

B_n – коэффициенты полинома знаменателя;

n – порядок полинома;

a_0 – нулевой коэффициент полинома знаменателя.

Алгоритм работы метода вещественных частот на основе комплексного критерия (выражение 12) представлен на рисунке.

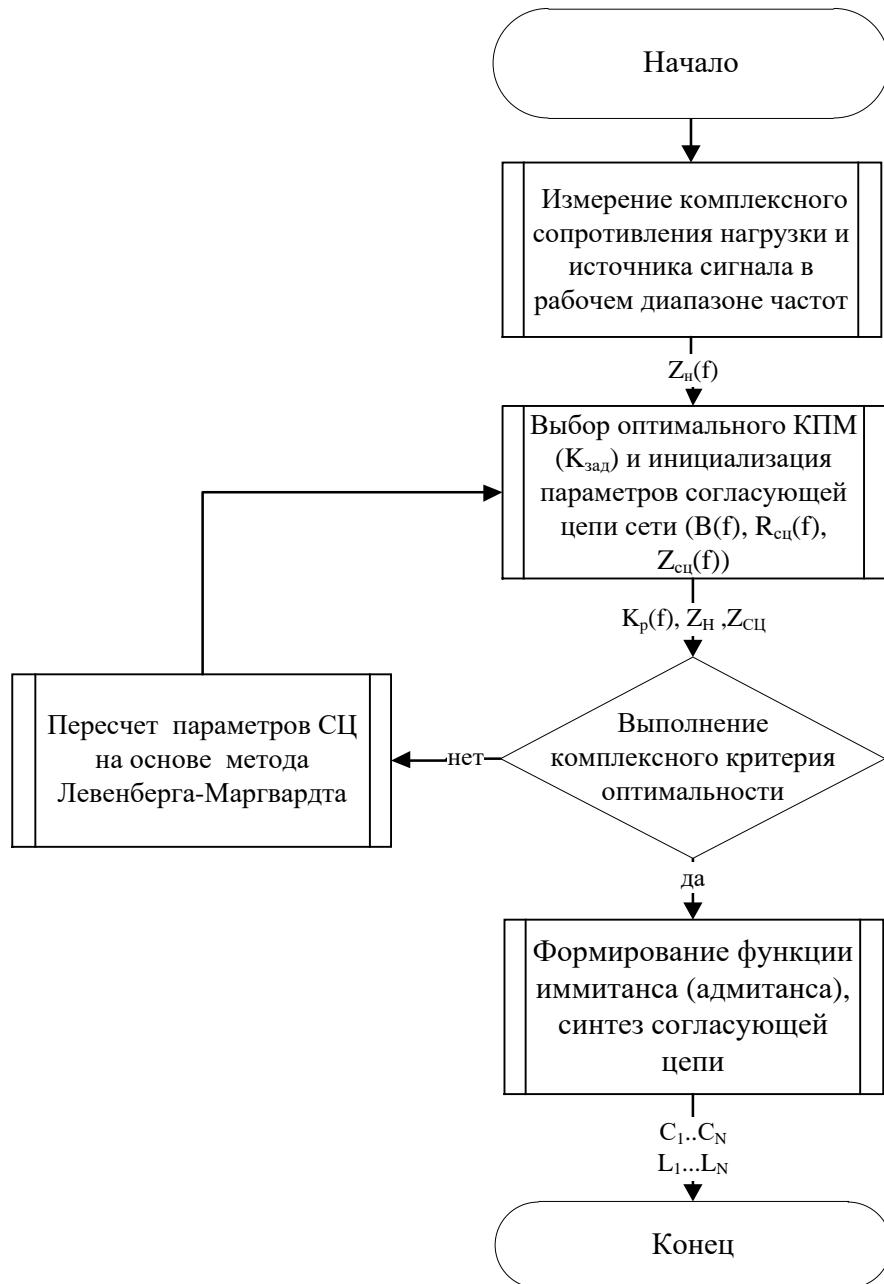


Рисунок 5. Алгоритм работы метода вещественных частот на основе комплексного критерия

Работа алгоритма заключается в нахождении вещественной составляющей функции сопротивления ШСУ, которая обеспечивает выполнение комплексного критерия (выражение 12). Достоинство данного подхода заключается в отсутствии дифференцирования функции коэффициента отражения для поиска значения чувствительности. Достаточно лишь знать значение импеданса АУ на дискретном ряде частот, чтобы синтезировать ШСУ, обладающее минимальной чувствительностью к изменению импеданса нагрузки.

4. Синтез ШСУ для АУ AD-44/CW-TA-30-512.

Для проверки работоспособности алгоритма (рисунок 5) было синтезировано ШСУ для АУ AD-44/CW-TA-30-512. Разработанное ШСУ обеспечивает уровень КПМ, в среднем, не хуже уровня, обеспечивающегося штатным ШСУ в различных условиях обстановки (в помещении, в лесном массиве, в непосредственной близости с техникой). Нагрузкой является АУ AD-44/CW-TA-30-512, работающая совместно с радиостанцией Р-180 [1, с. 31]. Рабочая

полоса частот $\Delta f = 108\text{--}146$ МГц с допустимым отклонением уровня $\varepsilon = 0,01$ (10 % от максимального значения функции КПМ). Моделирование проведено в AWR Microwave Studio 14 [15]. Схема синтезированного ШСУ (согласно алгоритма на рисунке 5) представлена на рисунке 6, элементы схемы приведены под ряд номиналов E24. Они равны: $C_1=16$ пФ; $C_2=39$ пФ; $C_3=29$ пФ; $L_1=56$ нН; $L_2=50$ нН.

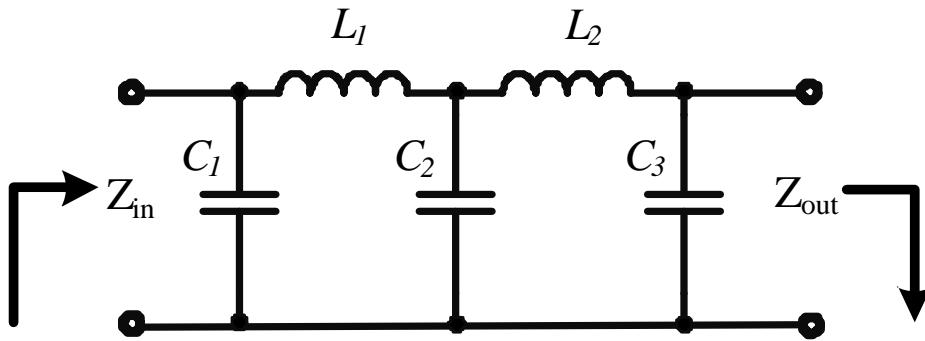


Рисунок 6. Схема ШСУ для АУ AD-44/CW-TA-30-512

Итоговые зависимости КПМ от частоты для различных условий обстановки представлены на рисунке 7. Прерывистыми линиями показаны КПМ АУ с синтезированным ШСУ, а сплошными линиями со штатным ШСУ в различных условиях обстановки.

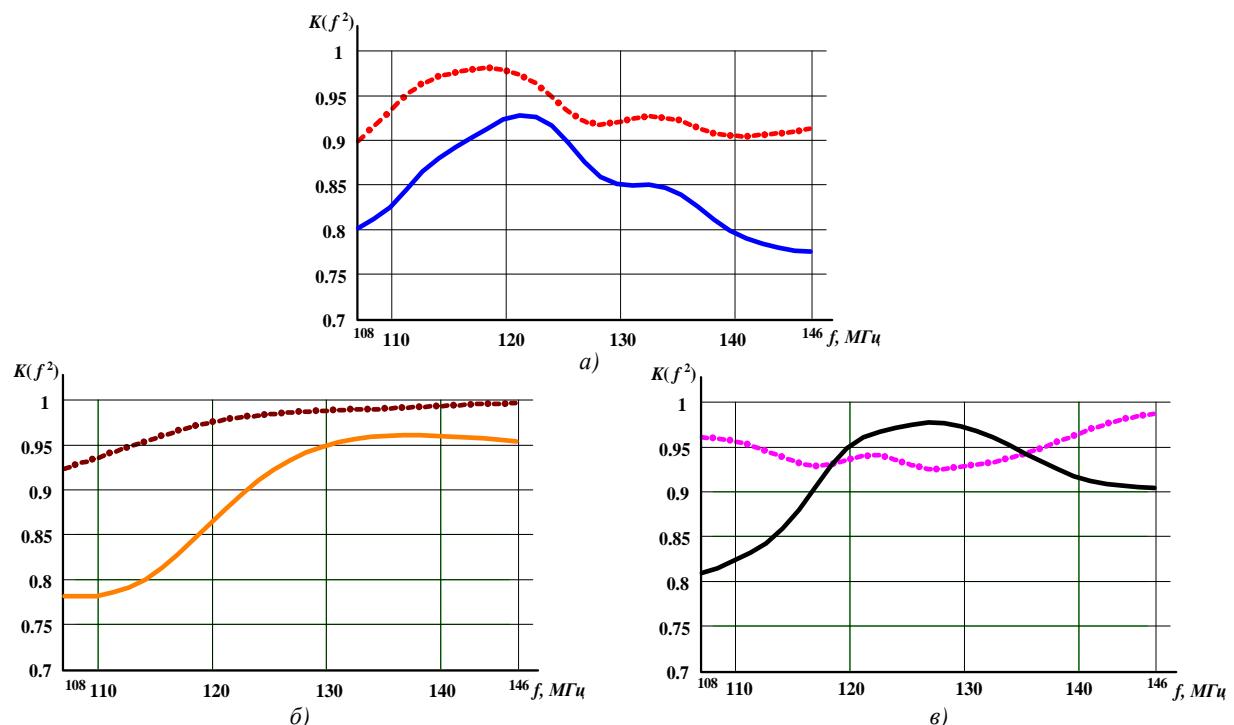


Рисунок 7. Зависимость КПМ от частоты АУ AD-44/CW-TA-30-512: а) в помещении; б) в непосредственной близости с техникой; в) в лесном массиве.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что синтезированное ШСУ обеспечивает более высокое значение уровня КПМ АУ при нахождении АУ в различных условиях обстановки.

Рассмотрим потери в уровне КПМ и в потенциально достижимой дальности действия радиолинии для наихудшего случая (расположении АУ в помещении). Потери уровня КПМ относительно максимального значения (исходя из [16, с. 44]) составляют 6,0%, а в

потенциально достижимой дальности действия радиолинии (выражение 2) – 3%. При сравнении с ранее полученными результатами [2] (потери уровня КПМ – 14,9%; потери в потенциально достижимой дальности действия радиолинии – 7,8%). Таким образом, синтезированное ШСУ обеспечивает выигрыш в потенциально достижимой дальности действия радиолинии (2) по сравнению со штатной ШСУ до 5% (в рамках представленных экспериментальных исследований).

Следовательно, использование в качестве критерия выражение (13) в комбинации с методом вещественных частот, позволило повысить уровень КПМ, а также минимизировать влияние изменения импеданса нагрузки на результирующий КПМ, что наглядно продемонстрировано в полученных результатах (рисунок 7). Следует обратить особое внимание, что возможности по сохранению требуемого уровня КПМ в условиях изменения импеданса нагрузки не могут быть безграничными. Если допустимый класс изменения импеданса нагрузки слишком велик, то одна и та же синтезированная СЦ не сможет функционировать во всех возможных ситуациях, какими бы динамическими свойствами она не обладала [17, с. 15–16]. В этом можно убедиться исходя из выражения (2) и значений импеданса нагрузки АУ AD-25/CW-3512, где только реальная составляющая импеданса изменяется в диапазоне от 10 до 160 Ом. В таких случаях положительный эффект функционирования может быть гарантирован только при наличии в системе адаптации.

5. Методика синтеза адаптивных широкополосных согласующих устройств на основе аппарата инварианта чувствительности.

Под адаптивным устройством согласования понимают систему с обратной связью, анализирующую качество согласования и подстраивающую свои элементы в сторону улучшения согласования.

Под исполнительным устройством в системе адаптации РТУ будем понимать ШСУ, обеспечивающее наилучшие показатели качества в различных условиях его эксплуатации. Качество данной системы возможно оценивать по критерию (12). В процессе работы РТУ автоматически определяется необходимая информация о текущем возмущающем воздействии и в нужном направлении изменяются параметры адаптивного ШСУ (согласно алгоритму представленного на рисунке 5). Исходя из сказанного, разработан алгоритм работы адаптивного ШСУ (рисунок 8).

Работа алгоритма заключается в нахождении параметров ШСУ, которое обеспечивает выполнение комплексного критерия (выражение 12). В его основе лежит алгоритм, представленный на рисунке 5. Достоинство данного подхода заключается в возможности адаптации ШСУ, которое обеспечивает экстремальное значение критерия оптимальности (12) в различных условиях эксплуатации РТС. Адаптация ШСУ обеспечивается различными структурами цепей и перестройкой (переключением) реактивных элементов в них.

Еще одно немаловажное достоинство подхода – это способность системы согласовывать антенну не во всей полосе частот, а только в той, где станция работает в текущий момент времени. Это позволяет уменьшить полосу согласования и применять ШСУ более эффективно. На адаптивное ШСУ, кроме критерия (12), могут накладываться и другие критерии. Например, избирательность ШСУ за полосой согласования или увеличение линейности характеристики группового времени задержки и др.

Следует заметить, что разделение на полосы согласования не может быть безграничным. Ограничения накладывает количество перестраиваемых структур ШСУ, ширина спектра сигнала, а также расположение поддиапазонов работы РТС, внутри которых не могут присутствовать разделения.

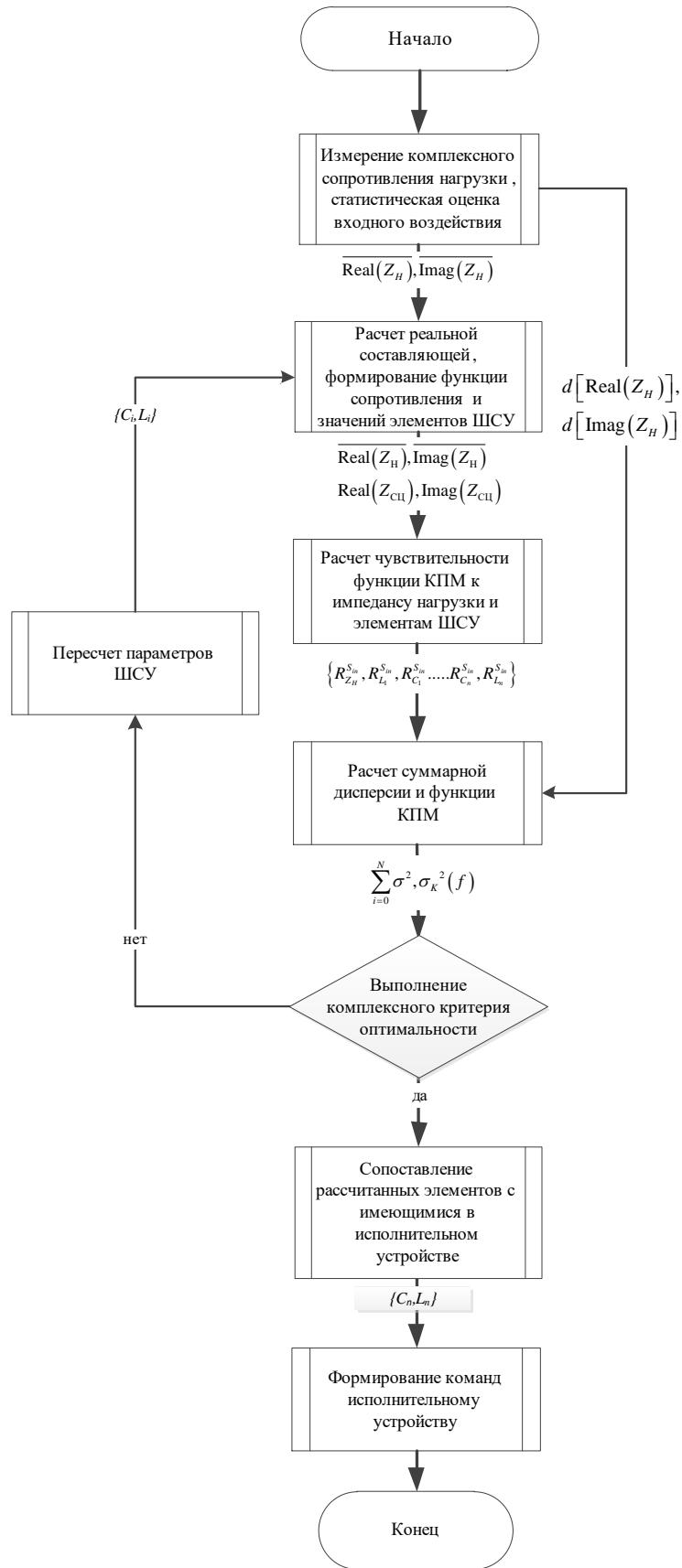


Рисунок 8. Алгоритм работы адаптивного ШСУ

Структурная схема РТС, реализующая алгоритм, представленный на рисунке 8, будет иметь вид.

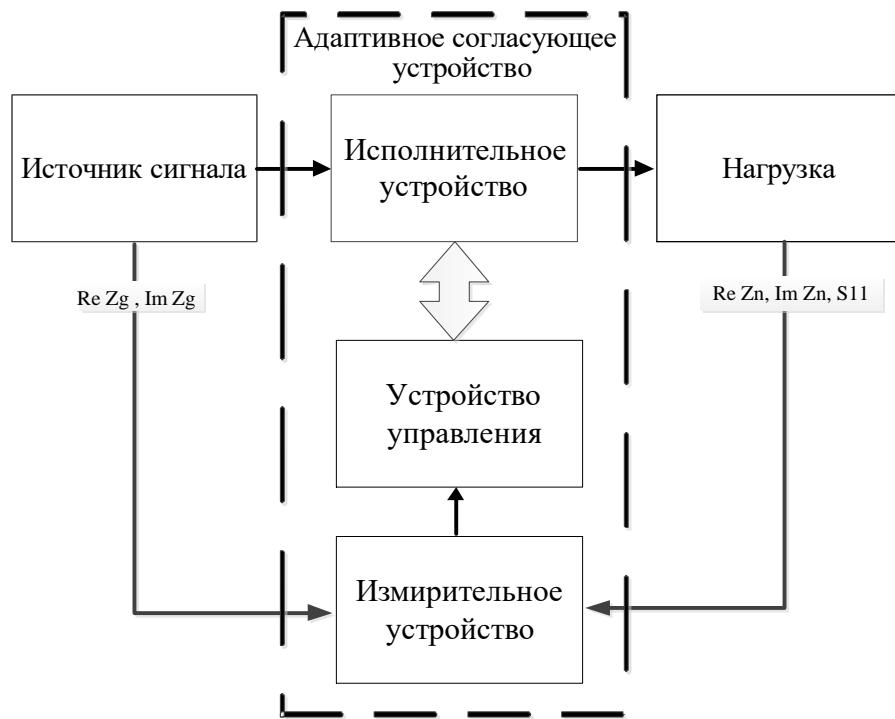


Рисунок 9. Структурная схема РТС с адаптивным ШСУ

Для проверки работоспособности алгоритма (рисунок 8) было синтезировано адаптивное ШСУ, обеспечивающее уровень КПМ, в среднем, не хуже уровня, обеспечивающегося штатным ШСУ в различных условиях обстановки (в помещении, в лесном массиве, в непосредственной близости с техникой). Нагрузкой предлагается использовать АУ AD-25/CW-3512. Для разделения на полосы согласования установим, что АУ работает совместно с радиостанцией Р-181 [1, с. 33]. Рабочие полосы частот : I→ от 108 до 146 МГц; II→ от 146 до 174 МГц; III→ от 220 до 380 МГц; IV→ от 380 до 470 МГц; V→ от 470 до 512 МГц. Определимся, что структурная схема ШСУ известна и необходимо лишь найти оптимальные значения ее параметров, обеспечивающих экстремальное значение критерия оптимальности (12) в рабочих полосах частот. Моделирование будем проводить в AWR Microwave Studio 14 [15]. Схема исполнительного устройства (ШСУ) представлена на рисунке 10, элементы которого приведены под ряд номиналов Е24 и представлены в таблице 1.

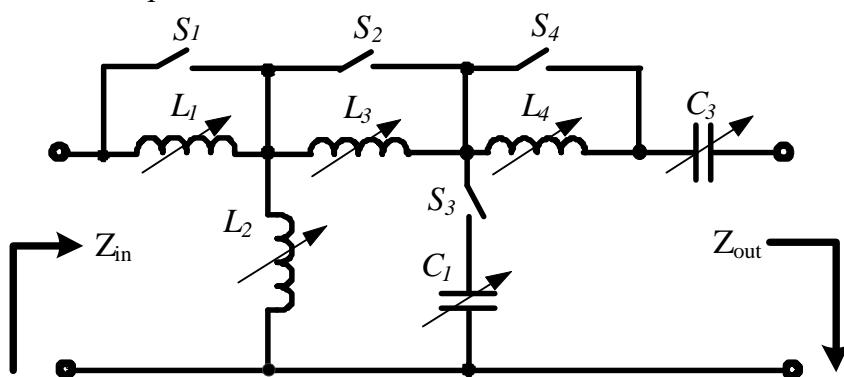


Рисунок 10. Принципиальная схема исполнительного устройства (адаптивного ШСУ)

Таблица 1. Номиналы элементов адаптивного ШСУ

Эле- менты	Условия эксплуатации														
	В помещении					В лесном массиве					В непосредственной близости с техникой				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
C ₁ ,pФ	680	160	11	220	39	910	360	30	4,7	91	1000	1000	27	130	9.1
L ₁ , nГн	15	11	16	0,15	4,3	36	0,3	0,56	0,2	0,62	33	—	0,47	1,5	8,2
L ₂ , nГн	75	430	27	620	300	270	820	33	1000	430	120	1000	22	27	33
L ₃ , nГн	1.3	0,82	0,43	20	0,82	0,68	36	—	—	0,2	—	—	—	—	0,56
C ₁ , pФ	4.7	33	9,1	7.5	9,1	0,51	27	—	2	0,24	3	20	7,5	8,2	3,3
L ₄ , nГн	1.8	43	—	30	18	2,2	68	—	33	3.9	0,22	36	—	7,5	2,7
C ₂ ,pФ	680	160	11	220	39	910	360	30	4,7	91	1000	1000	27	130	9.1

«—» — элемент равен нулю и исключается из согласующей цепи.

Следует заметить, что принципиальная схема, представленная на рисунке 10, может быть выполнена на реактивных элементах, реле или p-i-n-диодах в SMD исполнении. Устройство управления может быть реализовано на ПЛИС или микроконтроллере, а измерительное устройство в виде радиочастотного моста измерителя КСВ.

Зависимости КПМ от частоты для различных условий обстановки представлены на рисунке 11. Прерывистыми линиями показаны КПМ АУ со штатным ШСУ, а сплошными линиями с синтезированным ШСУ в различных условиях обстановки.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что представленное адаптивное ШСУ обеспечивает более высокий уровень КПМ при работе радиостанции в различных условиях обстановки. Рассмотрим потери в уровне КПМ и в потенциально достижимой дальности действия радиолинии. Для наихудшего случая (расположении АУ в помещении) потери уровня КПМ относительно максимального значения (исходя из [16, с. 44]) составляют 9,4%, а в потенциально достижимой дальности действия радиолинии (выражение 2) — 4,8%. При сравнении с ранее полученными результатами (потери уровня КПМ — 30,54%; потери в потенциально достижимой дальности действия радиолинии — 16,7%). Таким образом, синтезированное адаптивное ШСУ обеспечивает выигрыш в потенциально достижимой дальности действия радиолинии (2) для радиостанции Р-181 по сравнению со штатной ШСУ до 12% (в рамках представленных экспериментальных исследований).

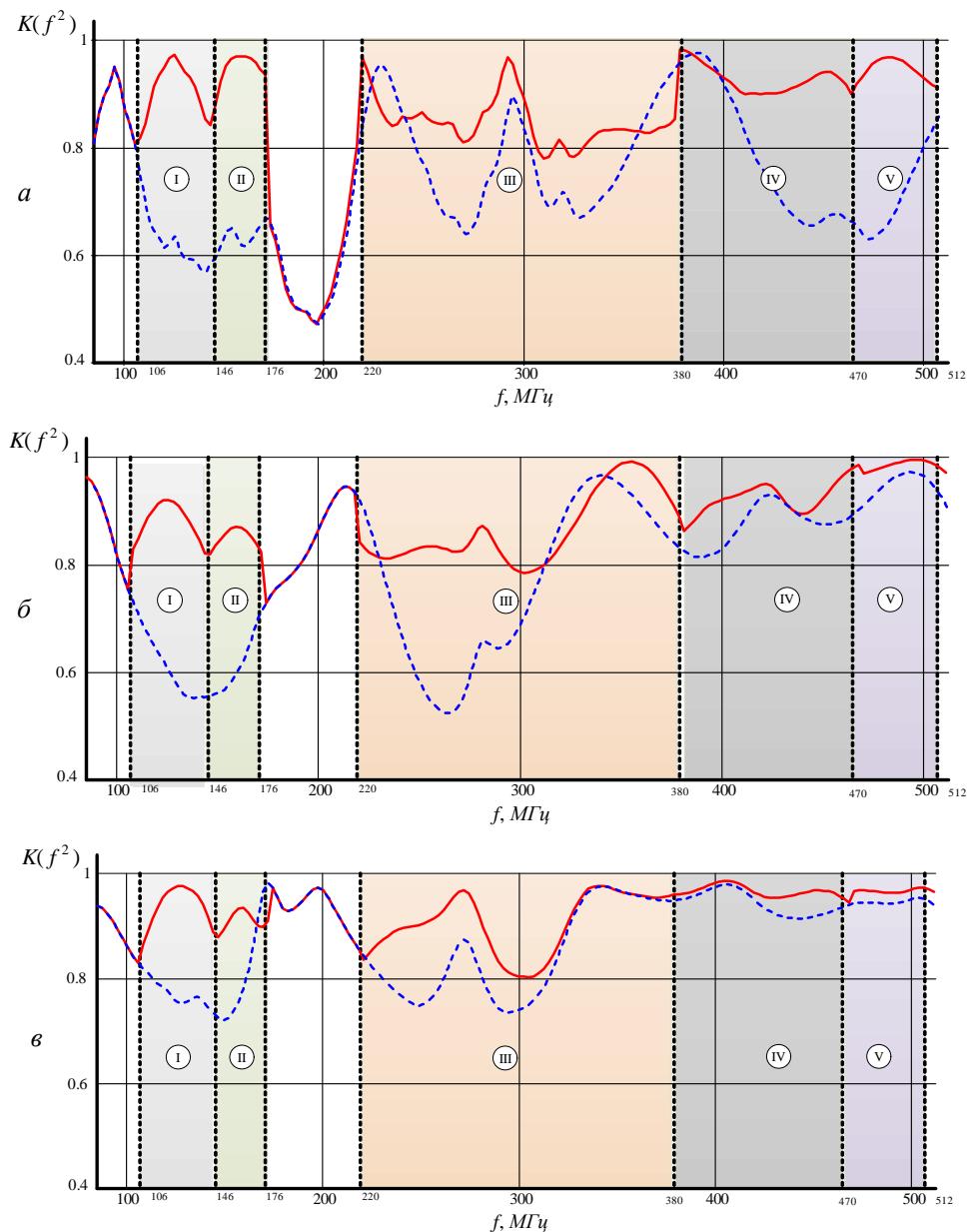


Рисунок 11. Зависимость КПМ от частоты АУ AD-44/CW-TA-30-512: а) в помещении; б) в непосредственной близости с техникой; в) в лесном массиве.

Заключение. Таким образом, для того, чтобы уровень КПМ сохранял требуемое значение в заданном диапазоне частот, необходимо, чтобы синтезированное ШСУ обладало свойством минимальной чувствительности функции коэффициента отражения к импедансу нагрузки.

В связи с этим был разработан комплексный критерий на основе инварианта чувствительности функции коэффициента отражения. Использование данного критерия, в комбинации с методом вещественных частот, позволяет синтезировать ШСУ, обладающее требуемым уровнем КПМ при наличии изменяющегося импеданса нагрузки.

С помощью данного подхода для АУ AD-44/CW-TA-30-512 было синтезировано ШСУ, обеспечивающее выигрыш в потенциально достижимой дальности действия радиолинии до 5% (для Р-180) по сравнению со штатным ШСУ. Для АУ AD-44/CW-TA-30-512 было синтезировано адаптивное ШСУ, обеспечивающее выигрыш в потенциально достижимой дальности действия радиолинии до 12% (для Р-181) в рабочем диапазоне частот по сравнению со штатным ШСУ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дик, А. М. Кашкаров А. В., Макатерчик А. В. Радиостанции малой и средней мощности / А. М. Дик, А. В. Кашмаров, А. В. Макатерчик. – Минск: БГУИР, 2014. – 108 с.
- [2] Бойкачев, П. В. Результаты исследования влияния условий эксплуатации на импеданс антенных устройств радиостанций ОВЧ/УВЧ диапазонов / П. В. Бойкачев, И. А. Дубовик, В. О. Исаев // «Вестник» ВАРБ. – 2019. – №2(63). – С. 32–40.
- [3] Trival antene. Datasheet AD-44/CW-TA-30-512. – Slovenia, 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.trival-antennas-masts.com/sites/default/files/brochures/ad-44-cw-ta-30-512ang.pdf> (дата обращения: 05.11.2020).
- [4] Trival antene. Datasheet AD-25/CW-3512. – Slovenia, 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.trival-antennas-masts.com/sites/default/files/brochures/AD-25-CW-3512%20ANG.pdf> (дата обращения: 05.11.2020).
- [5] Косачев, И. М. Методики расчета показателей достоверности и точности оцениваемых тактико-технических характеристик вооружения, военной и специальной техники / И. М Косачев, Д. С. Недедов // Вестник Военной академии Республики Беларусь. – Минск, 2015. – №1(46). – С. 107–135.
- [6] Антенно-фидерные устройства систем сухопутной подвижной радиосвязи. Типы, основные параметры, технические требования и методы измерения: ГОСТ 30783-2001. – Минск : Госстандарт Республики Беларусь, 2007.
- [7] XIII Машеровские чтения: материалы междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Витебск, 18 октября 2019 г. – Витебск: ВГУ имени П.М.Машерова, 2019. - С. 18-20.
- [8] Руководство по эксплуатации радиостанции Р-180 КЛСИ.46.464429.002РЭ.
- [9] Гришин, В. П. Радиотехнические системы. / В. И. Гришин, Ю. М. Ипатов, Ю. М. Казаринов: [и др.]. – М., 1990. – 496 с.
- [10] Гехер, К., ред: Ю. Л. Хотунцева. Теория чувствительности и допусков электронных цепей. М.Сов. радио. 1973.
- [11] Хьюдсман Л. П. Введение в теорию и расчет активных фильтров / Л. П. Хьюдсман, Ф. Е. Аллен. – Будапешт, 1973, 200 с.
- [12] Филиппович, Г. А. Широкополосное согласование сопротивлений / Г. А. Филиппович. – Минск, 2004.
- [13] Адаптивное согласование широкополосных радиотехнических устройств к изменяющемуся импедансу нагрузки / И. А. Дубовик, П. В. Бойкачев, В. О. Исаев, М. А. Янцевич // Междунар. науч. конф. по воен.-техн. проблемам, проблемам обороны и безопасности, использования технологий двойного применения.: сб. науч. статей 8-й Междунар. науч. конф., Минск, 16–17 мая 2017 г. Минск, 2019. – С. 50–53.
- [14] Yarman, B. S. Design of ultra wideband antenna matching networks / B. S. Yarman. – Istanbul: Springer, 2008. – 308 с.
- [15] Руководство по MWO: NI AWR Design Environment v14 Edition. El Segundo, CA –2018.
- [16] Ланнэ, А. А. Оптимальный синтез линейных электрических цепей / А. А. Ланнэ. – М. : Связь, 1969. – 294 с.
- [17] Небылов, А. В., Гарантирование точности управления / А. В. Небылов. – М: Наука. Физматлит, 1998–293 с.

REFERENCES

- [1] Dik, A. M. Kashkarov A. V., Makaterchik A. V. Radiostancii maloj i srednej moshhnosti / A. M. Dik, A. V. Kashmarov, A. V. Makaterchik. – Minsk: BGU, 2014. – 108 s.
- [2] Bojkachev, P. V. Rezul'taty issledovanija vlijanija uslovij jekspluatacii na impedans antennyh ustrojstv radiostancij OVCh/UVCh diapazonov / P. V. Bojkachev, I. A. Dubovik, V. O. Isaev // «Vestnik» VARB. – 2019. – №2(63). – S. 32–40.
- [3] Trival antene. Datasheet AD-44/CW-TA-30-512. – Slovenia, 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.trival-antennas-masts.com/sites/default/files/brochures/ad-44-cw-ta-30-512ang.pdf> (дата обращения: 05.11.2020).
- [4] Trival antene. Datasheet AD-25/CW-3512. – Slovenia, 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.trival-antennas-masts.com/sites/default/files/brochures/AD-25-CW-3512%20ANG.pdf> (дата обращения: 05.11.2020).
- [5] Kosachev, I. M. Metodiki rascheta pokazatelej dostovernosti i tochnosti ocenivaemyh taktiko-tehnicheskikh harakteristik vooruzhenija, voennoj i special'noj tehniki / I. M Kosachev, D. S. Nefedov // Vestnik Voennoj akademii Respubliki Belarus'. – Minsk, 2015. – №1(46). – S. 107–135.
- [6] Antenno-fidernye ustrojstva sistem suhoputnoj podvzhnoj radiosvazi. Tipy, osnovnye parametry, tehnicheskie trebovaniya i metody izmerenija: GOST 30783-2001. – Minsk : Gosstandart Respubliki Belarus', 2007.

- [7] XIII Masherovskie chtenija: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodyh uchenyh, Vitebsk, 18 oktjabrja 2019 g. – Vitebsk: VGU imeni P.M.Masherova, 2019. - S. 18-20.
- [8] Rukovodstvo po jekspluatacii radiostancii R-180 KLSI.46.464429.002RJe.
- [9] Grishin, V. P. Radiotekhnicheskie sistemy. / V. I. Grishin, Ju. M. Ipatov, Ju. M. Kazarinov: [i dr.]. – M., 1990.– 496 s.
- [10] Geher, K., red: Ju. L. Hotunceva. Teoriya chuvstvitelnosti i dopuskov jelektronnyh cipej. M.Sov. radio. 1973.
- [11] H'judsman L. P. Vvedenie v teoriju i raschet aktivnyh fil'trov / L. P. H'judsman, F. E. Allen. – Budapesht, 1973, 200 s.
- [12] Filippovich, G. A. Shirokopolosnoe soglasovanie soprotivlenij / G. A. Filippovich. – Minsk, 2004.
- [13] Adaptivnoe soglasovanie shirokopolosnyh radiotekhnicheskikh ustrojstv k izmenajushhemusja impedansu nagruzki / I. A. Dubovik, P. V. Bojkachev, V. O. Isaev, M. A. Jancevich // Mezhdunar. nauch. konf. po voen.-tehn. problemam, problemam oborony i bezopasnosti, ispol'zovaniya tehnologij dvojnogo primenenija.: sb. nauch. statej 8-ja Mezhdunar. nauch. konf., Minsk, 16–17 maja 2017 g. Minsk, 2019. – C. 50–53.
- [14] Yarman, B. S. Design of ultra wideband antenna matching networks / B. S. Yarman. – Istanbul: Springer, 2008. – 308 c.
- [15] Rukovodstvo po po MWO: NI AWR Design Environment v14 Edition. El Segundo, CA –2018.
- [16] Lannje, A. A. Optimal'nyj sintez linejnyh jelektricheskikh cipej / A. A. Lannje. – M. : Svjaz', 1969. – 294 s.
- [17] Nebylov, A. V., Garantirovanie tochnosti upravleni / A. V. Nebylov. – M: Nauka. Fizmatlit, 1998–293 s.

П.В. Бойкачев, А.А. Ержан*, И.А. Дубовик, В.О. Исаев, А.А. Сутько

Беларусь Республикасының Әскери академиясы

*e-mail: a.erzhan@aues.kz

UHF/VHF ДИАПАЗОНЫНЫҢ КЕҢ ЖОЛАҚТЫ АНТЕННАЛАРЫ ҮШІН АДАПТИВТІ ҮЙЛЕСТИРУ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫН СИНТЕЗДЕУ ӘДІСІ

Андратпа. Ауқымдардың негізгі артықшылықтары (30-512 МГц) – бұл әсіресе қала сыртында қолданылатын үлкен байланыс. Мұндай диапазондардың радиостанциялары аз оқшауланған жерлерде де, көп қабатты ғимараттарда да жақсы жұмыс істейді. Радиостанцияларда сигналдың ең жоғары қуатын көзден жүктемеге беруді қамтамасыз ететін кең жолақты үйлестіру құрылғылары (кең жолақты басқару жүйелері) пайдаланылады. Олар, әдетте, белгіленген параметр мәндері бар курделі жүктемелер үшін онтайлы. Айта кететін жайт, жүктеме кедергісі белгілі бір дәрежеде уақыт өтө келе өзгереді. Осы себепті, КЖЖБ (Кең жолақты жүйелерді басқару) әдетте қатаң мағынада онтайлы болмайды. КЖЖБ -мен келісілген радиотехникалық жүйенің параметрлері Онтайлы мәндерден біршама ерекшеленеді. Бұл қолданылатын КЖЖБ квази-оптимальды дегенді білдіреді. Мақалада радиотехникалық жүйелерді жүктеменің өзгеретін кедергісіне бейімдайтін кең жолақты үйлестіру құрылғыларын синтездеу әдісі ұсынылған.

Негізгі сөздер: бейімделу, сәйкес құрылғы, радиоавтоматика, кең жолақты құрылғылар.

P.V. Boicachov, A.A. Yerzhan*, I.A. Dubovik, V.O. Isaev, A.A. Sutko

Military Academy of the Republic of Belarus

*e-mail: a.erzhan@aues.kz

METHOD OF SYNTHESIS OF ADAPTIVE MATCHING DEVICES FOR BROADBAND UHF/VHF ANTENNAS

Abstract. The main advantages of the (30-512 MHz) bands are the long communication range, especially used outside the city. Radio stations of such bands work perfectly both in low-terrain areas and in multi-storey buildings. In radio stations, broadband matching devices (Broadband control systems) are used to ensure the transmission of the maximum signal power from the source to the load. They are usually optimal for complex loads with fixed parameter values. It should be noted that the load impedance, to varying degrees, varies over time. For this reason, the BCS is usually not strictly optimal. The parameters of the matched radio engineering system (Radio engineering communications) with the BCS differ slightly from the optimal values. This suggests that the BCS used are quasi-optimal. The article proposes a method for the synthesis of broadband matching devices that adapt radio engineering systems to the changing load impedance.

Keywords: adaptation, matching device, radio automation, broadband devices.

¹С.А. Кудубаева, ²М.Г. Гриф, ³Б.Т. Жусупова*

¹ Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Нур-султан, Казахстан

² Новосибирский государственный технический университет,

Новосибирск, Российская Федерация

³ Костанайский региональный университет имени А. Байтурсынова, Костанай, Казахстан

*e-mail: botashazhus@gmail.com

СОЗДАНИЕ АНИМИРОВАННОГО ПЕРСОНАЖА ДЛЯ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО СУРДОПЕРЕВОДА

Аннотация. В последние годы во всем мире большое внимание уделяется людям с ограниченными возможностями. Создание безбарьерной среды и необходимых условий для их обучения и коммуникации – одна из важных задач любого современного государства. Так как каждый человек должен иметь равные возможности для коммуникации с внешним миром. В нашем государстве также большое значение и необходимость имеет создание системы автоматического сурдоперевода с казахского языка на язык жестов для людей с ограниченными возможностями по слуху. Данная статья раскрывает перспективность использования анимированного персонажа (аватара) для демонстрации жестов, особенности создания анимированного персонажа и применения нотаций жестового языка для управления им. Аватар направлен на показ результатов перевода казахского текста на жестовый язык на основе ранее созданного нами словаря нотаций жестов казахского жестового языка (КЖЯ). При разработке системы автоматического сурдоперевода раскрывается смысл переводимого текста, он переводится в грамматику казахского жестового языка (КЖЯ). Затем составленный словарь используется для поиска слов в словаре, представления их в виде нотации и отображения с помощью аватара. Для создания модели аватара поэтапно используются такие программные средства, как MakeHuman, Photoshop, Blender. Настройка анимаций жестов выполняется в современном кроссплатформенном графическом пакете Unity3D посредством библиотек «клипов», созданных на основе словаря нотаций жестов КЖЯ.

Ключевые слова: компьютерный перевод, казахский жестовый язык, нотация, анимированный персонаж.

Введение. В Казахстане насчитывается порядка 200 тысяч людей с инвалидностью по слуху. По законодательству Республики Казахстан (РК) [1], каждому инвалиду по слуху ежегодно предусмотрены бесплатные услуги специалиста жестового языка в объеме до 60 часов, но порой отведённых часов недостаточно. Актуальность данной темы обоснована общим интересом государства, носителей жестовой речи, родителей слабослышащих детей. Исследования и разработки в этой области имеют в большей степени социальную направленность для помощи людям, имеющим нарушения слуха.

Для демонстрации результатов перевода казахского текста на казахский жестовый язык необходимо создание анимированного персонажа (аватара), который обеспечит понимание текста людьми с нарушением слуха, тем самым, позволив им правильно понять казахский текст. Казахский язык отличается наличием сложной грамматики, множеством окончаний, наличием нескольких видов прошедшего и будущего времен, что очень осложняет понимание его носителями жестовой речи. Таким образом, они ограничены в восприятии информации из учебников, книг, что не позволяет им получить знания и образование. Даже наличие субтитров в новостях, фильмах не позволяет им полноценно понимать их. По казахскому жестовому языку до сегодняшнего для не разрабатывались системы компьютерного сурдоперевода, поэтому исследования в этой области очень важны.

Для управления аватаром используется впервые разработанный нами для жестов казахского жестового языка словарь нотаций жестов, созданный на основе нотации Л.С. Димскис. Особенность словаря в том, что компоненты нотации определенного жеста несут в себе смысл данного жеста, тем самым, также отражая его грамматику.

Практическая значимость определена возможностью носителями жестовой речи правильно понимать смысл жестов, а значит и исходного текста.

Главной целью данного этапа исследования является создание анимированного персонажа (аватара) на основе нотаций жестов, позволяющего демонстрировать результаты компьютерного сурдоперевода казахского текста на жестовый язык.

В соответствии с поставленной целью были определены следующие задачи:

- 1) изучить перспективность использования анимированного персонажа (аватара) для демонстрации жестов;
- 2) изучить и выбрать доступные программные средства для создания модели аватара;
- 3) спроектировать модель аватара;
- 4) создать библиотеки «клипов» жестов, используя словарь нотаций жестов КЖЯ;
- 5) настроить по нотации жестов анимации для управления аватаром.

Основой любого компьютерного сурдоперевода является словарь жестового языка.

Ранее нами проводилось исследование различных систем нотаций и было дано обоснование выбора системы Л.С.Димскис для записи жестов казахского жестового языка и составлен словарь КЖЯ [2]. Исходя из наглядности, лёгкости в использовании, доступности базы знаков, возможности применения к национальным жестовым языкам, наилучшим, оптимальным вариантом для фиксации КЖЯ в письменном виде была выбрана система Л.С.Димскис. Система Л.С. Димскис имеет ограниченное, но достаточное количество знаков для обозначения компонентов нотаций: более 30 конфигураций рук, около 50 характеристик места исполнения жестов и более 70 характеристик локализации [3]. Для того, чтобы модель аватара демонстрировала нам необходимый жест, необходимо создать библиотеки «клипов» для правой руки, левой руки и для двуручных жестов, содержащие анимации компонентов нотаций жестов. По окончанию выполнения жеста аватар возвращается в заключительный «клип» - «возврат в начальное состояние».

В ходе изучения и актуализации исследований в области ЖЯ в мире были созданы различные системы сурдоперевода: Zardoz, TEAM, ViSiCAST, система машинного сурдоперевода на базе Microsoft Kinect, система SISI, Сурдосервер и др. Не во всех этих системах имеется аватар.

Система Zardoz была предложена в качестве системы перевода с английского языка на язык жестов, в которой язык-посредник (интерлингва) используется в качестве элемента перевода. Реализованная часть системы, ориентирована на американский язык жестов, авторы так же ведут разработки в рамках ирландских и японский язык жестов. Текущие исследования сосредоточены на разработке всеобъемлющей грамматики, морфологии и лексики для ирландского языка жестов [4, 5].

Система TEAM (TranslationfromEnglishtoASLbyMachine) – это система машинного перевода с английского языка на американский жестовый язык. Перевод в системе TEAM состоит из двух этапов: первый - перевод введенного предложения с английского языка на промежуточное представление с учетом синтаксической, грамматической и морфологической информации, второй - отображение промежуточного представления в виде движения с небольшим набором параметров, которые в дальнейшем преобразуются в большее число параметров, которые управляют моделью человека (аватаром), воспроизводящей жесты. Гибкость системы позволяет адаптировать ее к другим жестовым языкам [6, 7].

Система ViSiCAST (VirtualSigning: Capture, Animation, StorageandTransmission) - это система машинного перевода с английского языка на американский жестовый язык. Проект ViSiCAST является упрощенной системой, которая фиксирует движения и жесты человека-сурдопереводчика, а затем эти координаты рук переводчика передаются для последующего анализа для получения реалистичного аватара [8].

Система машинного сурдоперевода, разработанная на базе технологии Kinect от Microsoft, способна считывать движения рук и всего тела. Список функций системы включает в себя помимо распознавания движений также сурдоперевод, как часть нового

исследовательского проекта, призванного помочь людям с отсутствием слуха. Созданная технология не только переводит язык жестов в слова, проговариваемые компьютером, но и осуществляет обратный процесс: пользователь без недостатков слуха говорит или впечатывает слова в переводчик Kinect, а система затем воспроизводит слова на языке жестов с помощью виртуального аватара на экране [9].

Система «Say It Sign It», разработанная в исследовательском центре IBM Hursley в Великобритании, позволяет переводить устную речь в язык жестов. Система «Say It Sign It» (SiSi) объединяет несколько компьютерных технологий. Сначала специальный модуль распознавания речи преобразуют произнесённые одним из пользователей в микрофон слова в текст. Затем специальная программа «прогоняет» текст через программу-переводчика, которая анализирует сказанное и переводит текст в английский язык жестов, в то время как виртуальный аватар изображает переведённый фрагмент. Жестовые аватары и технология для анимации языка жестов из специальной системы обозначений жестов были разработаны Университетом Восточной Англии, а база данных жестов была разработана RNID (Royal National Institute for Deaf People) [10].

Ученые из Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (ИПУ РАН) работают над разработкой системы, которая с помощью искусственного интеллекта сможет в режиме реального времени через видеокамеру переводить жестовый язык в слова, фразы и буквы. В данной системе для распознавания жестов применяется искусственный нейронный кортекс (группа нейронов, ответственная за принятие решений), способный распознавать статические жесты. Дактильную азбуку он уже распознает и в будущем эта разработка будет доведена до автоматического сурдопереводчика. Разработанный интернет-портал «Сурдосервер» содержит сотни обучающих видеороликов, речевой тренажер, который помогает глухим пользователям узнать, насколько правильно они произносят тот или иной звук, глоссарий с дактильными азбуками разных стран, словарь «диалектов жестового языка». Также ученые из ИПУ РАН разрабатывают мобильное приложение «Сурдосервис» и сурдооблако, в котором люди с проблемами слуха смогут мгновенно обмениваться информацией.

Несмотря на прогресс, достигнутый в связи с растущим интересом к системам перевода жестовых языков, все еще существуют важные пробелы, которые необходимо решать в контексте жестовых языков. В системе Zardoz делаются попытки учета семантической составляющей жестового языка, помимо морфологической и синтаксической информации, необходимой для более качественного перевода. Недостатком технологии перевода в системе ViSiCAST является привлечение человека в процесс перевода.

Для улучшения удобства использования и эффективности решений, система компьютерного сурдоперевода КЖЯ разрабатывается с учетом семантики как исходного текста, так и семантики языка жестов, отражающейся в компонентах нотации жестов. Поэтапное использование различных программных сред для создания модели аватара, позволяет достичь максимальной реалистичности аватара для передачи выразительности и точности жестовой речи. Создание библиотек «клипов», отражающих такой компонент жестов, как «характер исполнения жеста», позволяет демонстрировать не только статические, но и динамические жесты.

Методы исследования. Технология создания аватара реализована на основе методов компьютерной моделирования, в большей степени имитационного моделирования, с использованием структуры жестов КЖЯ на основе нотации Л.С.Димскис для управления им и отображения жестов КЖЯ анимированным персонажем.

Приступая к созданию аватара, необходимо сначала спроектировать модель человека. Для этого использовался MakeHuman - бесплатный интерактивный инструмент моделирования с открытым исходным кодом для создания пользовательских трехмерных персонажей. А также использовалась программа трехмерной графики Blender. Для настройки

текстуры одежды прибегали к средствам Photoshop. Настройку анимаций, создание «клипов» проводили в графической движке Unity3D.

Результаты и их обсуждение. При создании модели человека сначала задаем в программе MakeHuman гендерные характеристики нашему будущему аватару, указывая пол, возраст, мускулатуру, вес, рост, пропорции и даже расовую принадлежность. Наличие в данной программе множества панелей с расширенными настройками позволяет редактировать внешний вид модели, но не желательно в этой программе выбирать одежду для аватара (кроме обуви), так как под ней не сохраняется полигональная сетка создаваемой модели аватара. Это может осложнить дальнейшую работу с данной моделью в других графических программах. Из MakeHuman модель аватара экспортируется в формате .obj.

Работу в программе Blender начинаем с импорта созданной в MakeHuman модели аватара, хранящейся в файле с расширением .obj. Работая с полигональной сеткой модели, задаём контуры одежды аватара, группируя полигоны для каждого вида одежды. Текстуровать одежду можно как на 2D плоскости, так и на самой 3D модели. 2D модель можно сохранить как изображение и дополнительно текстурировать в Photoshop (Рисунок 1).



Рисунок 1. Результат текстурирования 2D модели аватара в Photoshop

В программе Blender, добавляя скелет в модель аватара, мы можем более точно расположить суставы на руках и пальцах, что очень важно при показе жестов (Рисунок 2).



Рисунок 2. Создание скелета модели аватара в Blender

Перед тем как экспортить модель аватара из Blender в Unity3D необходимо задать ей соответствующий масштаб. Также в Unity3D импортируются все текстуры, связанные с нашей моделью аватара - текстура одежды, обуви, волос, бровей, глаз. Функционал пакета Unity3D удовлетворяет всем требованиям по работе с аватаром: позволяет создавать библиотеки клипов и настраивать анимации по компонентам нотации жестов, используя созданный нами словарь нотации жестов КЖЯ по Л.С.Димскис (Таблица 1).

Согласно нотации Л.С.Димскис каждый жест имеет 5 элементов, характеризующих положение руки и пальцев:

- первый элемент – характер исполнения жеста (одноручный, двуручный);
 - второй элемент – положение пальцев (конфигурация);
 - третий элемент – направление ладони;
 - четвертый элемент – направление пальцев;
 - пятый элемент структуры – место расположения жеста [11].

При необходимости шестым элементом структуры является направление и характер движения исполняемого жеста. При отсутствии движения шестой элемент отсутствует.

Таблица 1. Фрагмент словаря нотаций жестов КЖЯ различной тематики

Жесты КЖЯ	Нотация жестов КЖЯ (по Л.С. Димскис)
АДАМ	П С > П ↑
АНА	П С < С ←
ЭКЕ	П С < С ↓
СӘБИ	П С < П л С > П
БАЛА	П С < П
БАЛА (2)	П С < С ↓
БАЛАЛАР	ЛП С < Н <---->---->
ҰЛ БАЛА	П С < П ЛП С < Н
ҚЫЗ БАЛА	П С < П ЛП С < Н
ҚЫЗ	П С < С П С < П ↓
...	

В Unity3D дверовидная структура скелета рук аватара управляет по частям и состоит из следующих элементов: ключица, плечо, предплечье, кисть. Перемещение любого элемента руки происходит по относительной полярной системе координат и рассчитывается от конечной точки предыдущего элемента (сустава). А также обязательно указываются параметры конечного пространственного угла и время для перемещения руки в новое положение. Вычисление угла поворота по часовой и против часовой стрелки необходимо для выбора кратчайшего пути для перемещения элемента руки, которое будет соответствовать естественному движению аватара (человека) [11].

Текстовое описание движения элемента руки включает в себя 3 угла поворота и время перехода (Таблица 2). Unity позволяет данное текстовое описание переводить в анимационное движение. Сложные сценарии движения отличаются от простых описанием нескольких промежуточных положений.

Таблица 2. Пример текстового описания движения правого плеча

Элементы руки	Конечное положение			Время, с	Расчетные углы поворота		
	X	Y	Z		ΔX	ΔY	ΔZ
Правое плечо	X1	Y1	Z1	t1	X1-X0	Y1-Y0	Z1-Z0

Так как движение плеча невозможно без движения руки, а поворот кисти – без поворота предплечья, то создаются «клипы», содержащие наборы анимаций для перемещения элементов руки.

Каждый элемент нотации Л.С. Димскис описывается «клипом», а жест состоит из 5 или 6 элементов в зависимости от того, является ли он динамичным или нет. Первый элемент нотации жестов предполагает наличие 3 библиотек «клипов» – это библиотеки «клипов» правой руки, левой руки и двуручных жестов. Затем необходимы библиотеки «клипов» конфигураций руки, направлений ладони, направлений пальцев, локализаций и характера движений. Таким образом, для показа жестов аватаром необходимо 8 библиотек «клипов».

Большую сложность представляет собой описание перемещения элементов кисти, которое подразумевает движение запястья, пястья, пальцев.

Если статические «клипы» описывают только перемещение руки из начального состояния в конечное, то динамические – перемещение элементов руки, соответствующее движению жестов. Статический и динамический «клипы» иногда формируют составной «клип». Например, из буквы Ы можно получить жест СӘБИ, добавив динамический «клип» (поворот запястья, обратимое).

Все созданные анимационные «клипы», иерархия библиотек доступны в режиме «Разработчик». В режиме «Пользователь» доступно внесение записи жеста в нотации Л.С.Димскис, который демонстрируется посредством отбора «клипов» из библиотек.

Выводы. Представление описания жестов с использованием нотации Л.С.Димскис в словаре КЖЯ дает возможность его использования для управления аватаром. При разработке системы автоматического сурдоперевода раскрывается смысл переводимого текста, он переводится в грамматику КЖЯ, семантика которого отражается в элементах нотации жестов. Затем составленный словарь КЖЯ используется для поиска слов в словаре, представления их в виде нотации и отображения с помощью аватара.

Создание модели аватара и настройка анимационных «клипов», приводящих элементы рук в движение согласно нотации жестов, позволило достоверно отобразить результат компьютерного сурдоперевода казахского текста на казахский жестовый язык. В ходе работы достигнута максимальная реалистичность аватара, выразительность и точность передачи им жестовой речи. Наличие библиотек динамических «клипов», отражающей такой компонент жестов, как «характер движения», позволило показывать динамические жесты.

Используя популярные программные средства для работы с трёхмерной графикой, создан полноценный анимированный персонаж для отражения жестов казахского жестового языка. Созданный аватар может быть использован не только в системе компьютерного сурдоперевода, но и как программное средство для обучения детей и взрослых жестам КЖЯ, так как исследования и разработки в данной области имеют в большей степени социальную направленность для помощи людям, имеющим нарушения слуха.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Закон Республики Казахстан от 13 апреля 2005 г. № 39-III «О социальной защите инвалидов в Республике Казахстан» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 26.12.2019 г.) http://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30008935#pos=1;-235. Дата обращения: 04.12.2020.
- [2] Kudubayeva S., Zhussupova B., Aliyeva G. Features of the representation of the Kazakh sign language with the use of gestural notation: compiling the dictionary of gestures of the KSL based on the notation of L.S. Dimskis, Proceedings of ACM The International Conference on Engineering & MIS 2019 (ICEMIS 2019), ACM, Astana, Republic of Kazakhstan, DOI: 10.1145/3330431.3330440 – 2019 – P. 1-5.
- [3] Димскис Л. Изучаем жестовый язык // Учебное пособие, Издательский центр «Академия» - 2002 - С.4-6.
- [4] Veale T., Conway A. Cross modal comprehension in ZARDOZ: an English to sign-language translation system, Proceedings of the Seventh International Workshop on Natural Language Generation INLG'94, Kennebunkport, Maine – 1994. – P. 249–252.
- [5] Veale T., Conway A., Collins B. The Challenges of Cross-Modal Translation: English-to-Sign-Language Translation in the Zardoz System, Proceedings of the Machine Translation 13, <https://doi.org/10.1023/A:1008014420317> – 1998. – P. 81–106.
- [6] Zhao L., Kipper K., Schuler W. A machine translation system from English to American sign language // Lecture Notes in Computer Science – 2000 – Vol.1934, – P. 54–67.
- [7] Zhao L., Badler N. Acquiring and validating motion qualities from live limb gestures // Graphical Models. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gmod.2004.08.002> - 2005 - Vol.67, - P. 1-16.
- [8] Wakefield M. VisiCAST Milestone: final report no. IST-1999-10500 // Information Societies Technology. – 2002. – P. 97.
- [9] Azure Kinect DK. <https://azure.microsoft.com/ru-ru/services/kinect-dk/#features>. Дата обращения: 04.12.2020.
- [10] Sys-consulting: Avatars. https://www.sys-consulting.co.uk/web/Expertise_Avatars.html. Дата обращения: 04.12.2020.
- [11] Гриф М.Г., Лукоянчев А.В. Мультимедийный программный комплекс для создания словаря русского жестового языка // Вестник АГТУ, Серия: Управление, вычислительная техника и информатика, ISSN 2072-9502 – 2017 - №1, - С. 105-114.
- [12] Мануева Ю. С., Гриф М. Г., Козлов А. Н. Построение системы компьютерного сурдоперевода русского языка // СПИИРАН. 2014. №6 (37).
- [13] Prillwitz S., Leven R., Zienert H., Hanke T., Henning J. HamNoSys. Version 2.0; Hamburg Notation System for sign languages: An introductory guide // International Studies on Sign Language and Communication of the Deaf. Vol. 5. Hamburg: Signum Press, 1989.
- [14] Sutton V. Lessons in SignWriting: textbook and workbook. La Jolla: Deaf action committee for sign writing, 1999.
- [15] Martin J. A linguistic comparison. Two notation systems for signed languages. Stokoe Notation and Sutton sign writing. Sign writing web site. La Jolla (CA) (Deaf action committee for sign writing). 2000. <http://www.signwriting.org/archive/docs1/sw0032-Stokoc-Sutton.pdf>. Дата обращения: 04.12.2020.

REFERENCES

- [1] Law of the Republic of Kazakhstan of April 13, 2005 No. 39-III "On Social protection of disabled persons in the Republic of Kazakhstan" (with amendments and additions as of December 26, 2019) http://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30008935#pos=1;-235. Accessed: 04.12.2020.
- [2] Kudubayeva S., Zhussupova B., Aliyeva G. Features of the representation of the Kazakh sign language with the use of gestural notation: compiling the dictionary of gestures of the KSL based on the notation of L.S. Dimskis, Proceedings of ACM The International Conference on Engineering & MIS 2019 (ICEMIS 2019), ACM, Astana, Republic of Kazakhstan, DOI: 10.1145/3330431.3330440 – 2019 – P. 1-5.
- [3] Dimskis L. Izuchaem zhestovyj yazyk//Textbook, Publishing center "Academy"-2002 - p.4-6.
- [4] Veale T., Conway A. Cross modal comprehension in ZARDOZ: an English to sign-language translation system, Proceedings of the Seventh International Workshop on Natural Language Generation INLG'94, Kennebunkport, Maine – 1994. – P. 249–252.
- [5] Veale T., Conway A., Collins B. The Challenges of Cross-Modal Translation: English-to-Sign-Language Translation in the Zardoz System, Proceedings of the Machine Translation 13, <https://doi.org/10.1023/A:1008014420317> – 1998. – P. 81–106.

- [6] Zhao L., Kipper K., Schuler W. A machine translation system from English to American sign language // Lecture Notes in Computer Science – 2000 – Vol.1934, – P. 54–67.
- [7] Zhao L., Badler N. Acquiring and validating motion qualities from live limb gestures // Graphical Models. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gmod.2004.08.002> - 2005 - Vol.67, - P. 1-16.
- [8] Wakefield M. VisiCAST Milestone: final report no. IST-1999-10500 // Information Societies Technology. – 2002. – P. 97.
- [9] Azure Kinect DK. <https://azure.microsoft.com/ru-ru/services/kinect-dk/#features>. Data obracheniya: 04.12.2020.
- [10] Sys-consulting: Avatars. https://www.sys-consulting.co.uk/web/Expertise_Avatars.html. Data obracheniya: 04.12.2020.
- [11] Grif M. G., Lukoyanychev A.V. Multimediyni programmhyi complex dlya sozdaniya slovarya russkogo zhestovogo yazyka // Bulletin of ASTU, Series: Management, Computer Engineering and Informatics, ISSN 2072-9502-2017-No. 1, - pp. 105-114.
- [12] Manueva Yu. S., Grif M. G., Kozlov A. N. Postroenie sistemy komputernogo surdoperevoda russkogo yazyka // SPIIRAN. 2014. No. 6 (37).
- [13] Prillwitz S., Leven R., Zienert H., Hanke T., Henning J. HamNoSys. Version 2.0; Hamburg Notation System for sign languages: An introductory guide // International Studies on Sign Language and Communication of the Deaf. Vol. 5. Hamburg: Signum Press, 1989.
- [14] Sutton V. Lessons in SignWriting: textbook and workbook. La Jolla: Deaf action committee for sign writing, 1999.
- [15] Martin J. A linguistic comparison. Two notation systems for signed languages. Stokoe Notation and Sutton sign writing. Sign writing web site. La Jolla (CA) (Deaf action committee for sign writing). 2000. <http://www.signwriting.org/archive/docs/sw0032-Stokoc-Sutton.pdf>. Data obracheniya: 04.12.2020.

С.А. Кудубаева, М.Г. Гриф, Б.Т. Жусупова

Л.Н. Гумилев атындағы Евразия ұлттық университеті, Нұр-султан, Қазақстан
Новосибирск мемлекеттік техникалық университеті, Новосибирск, Ресей Федерациясы
А.Байтурсынов атындағы Қостанай өнірлік университеті, Қостанай, Қазақстан
*e-mail: botashazhus@gmail.com

КОМПЬЮТЕРЛІК СУРДОАУДАРМА ЖҮЙЕСІ ҮШИН АНИМАЦИЯЛАНҒАН КЕЙІПКЕРДІ ЖАСАУ

Андратпа. Соңғы жылдары бүкіл әлемде мұмкіндігі шектеулі адамдарға үлкен көніл бөлінеді. Кедегісіз орта құру және оларды оқыту мен коммуникация үшін қажетті жағдайлар жасау – кез келген заманауи мемлекеттің маңызды міндеттерінің бірі. Өйткені әрбір адамның сыртқы әлеммен байланыс үшін тәң мүмкіндіктері болуы тиіс. Біздің мемлекетте есту қабілеті шектеулі адамдар үшін қазақ тілінен ымдау тіліне автоматты сурдоаударма жүйесін құру үлкен маңызға ие. Бұл мақала құмылдарды көрсету үшін анимацияланған кейіпкерді (аватарды) пайдалану перспективасын, анимацияланған кейіпкерді жасау ерекшеліктерін және оны басқару үшін ымдау тілінің нотациясын қолдануды көрсетеді. Аватор бұрын жасаған қазақ ымдау тілінің нотациялары сөздігінің негізінде қазақ мәтінін ымдау тіліне аудару нәтижелерін көрсетуге бағытталған. Автоматты сурдоаударма жүйесін әзірлеу кезінде аударылатын мәтіннің мағынасы ашылады, ол қазақ ымдау тілінің грамматикасына аударылады. Содан кейін құрастырылған сөздік сөздікте сөздерді іздеу, оларды нотация түрінде көрсету және Аватор арқылы көрсету үшін пайдаланылады. Аватор моделін жасау үшін MakeHuman, Photoshop, Blender сияқты бағдарламалық құралдар кезең-кезеңмен қолданылады. Құмыл анимациясын балтау қазіргі заманғы Unity3D кроссплатформлы графикалық пакетінде қазақ ымдау тілінің құмыл нотациялары сөздігінің негізінде жасалған "клиптер" кітапханалары арқылы орындалады.

Негізгі сөздер: компьютерлік аударма, қазақ ымдау тілі, нотация, анимацияланған кейіпкер.

S.A. Kudubayeva, ²M.G. Grif, ³B.T. Zhussupova*

L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan
Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation
Kostanay Regional University named after A. Baitursynov, Kostanay, Kazakhstan
*e-mail: botashazhus@gmail.com

CREATING AN ANIMATED CHARACTER FOR A COMPUTER SIGN LANGUAGE TRANSLATION SYSTEM

Abstract. In recent years, much attention has been paid to people with disabilities around the world. Creating a barrier-free environment and the necessary conditions for their training and communication is one of the important tasks of any modern state. Since everyone should have equal opportunities to communicate with the outside world. In our country, it is also important and necessary to create a system of automatic sign language translation from Kazakh to sign language for people with hearing disabilities. This article reveals the prospects of using an animated character (avatar) to demonstrate gestures, the features of creating an animated character and applying sign language notation to control it. The avatar is aimed at showing the results of translating the Kazakh text into sign language based on the previously created dictionary of notation of gestures of the Kazakh sign language (KSL). When developing an automatic sign language translation system, the meaning of the translated text is revealed, it is translated into the grammar of the KSL. The compiled dictionary is then used to search for words in the dictionary, present them as notation, and display them using an avatar. To create an avatar model, software tools such as MakeHuman, Photoshop, and Blender are used in stages. Gesture animations are set up in the modern cross-platform graphics package Unity3D using libraries of "clips" created based on the dictionary of notations of gestures of the KSL.

Keywords: computer translation, kazakh sign language, notation, animated character.

¹A.D. Mutaliyev*, ¹K.I. Samoilov, ²O.N. Priemets

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

²Kazakh Head Academy of architecture and Civil engineering, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: alisher.mutaliyev@gmail.com

**THE INTERPRETATION OF THE PRINCIPLES OF "GREEN ARCHITECTURE"
IN THE CONCEPT OF TRANSREGIONAL MONO-STYLISTIC COMPANY
"SKIDMORE, OWINGS AND MERRILL"**

Abstract. The concept of trans-regional monostilism is considered in the work of Skidmore, Owings & Merrill, which is considered on the example of 22 works. One of the oldest companies in the modern architectural market – «Skidmore, Owings & Merrill» – has consistently interpreted the concept of "International style" for more than eighty years, focusing on the work of L.Mies van der Rohe. The visual lightness of glass and metal surfaces formed by standard, unified elements, the relative simplicity of the shape geometry, and the accentuated utilitarianism have become recognizable features of the company's corporate identity. Additional aspects for shaping are provided by the interpretation of techniques for improving the energy efficiency of buildings.

Keywords: green architecture, energy efficiency, wind generators, solar panels, corporate identity, creative concept.

The modern world architectural process is characterized by the presence of an active dialectical interaction of two phenomena. On the one hand, this is a highly personalized practice of individual project groups focused on one or more architects, and on the other – the work of large design or construction companies, where individual creativity is blurred in a kind of collective. A facet of this specificity is the vision of approaches to architectural and artistic shaping, which ranges from rigid stylistic binding to contextually determined polystylistism, which is manifested in both individual and collective creativity [1]. This is combined with one or another interpretation of the principles of sustainable architecture [2; 3; 4; 5].

One of the oldest companies in the modern architectural market – Skidmore, Owings and Merrill – for more than eighty years of work consistently interprets the concept of "International style", focusing on the work of Ludwig Mies van der Rohe ("Skidmore, Owings and Merrill" / "SOM": American company, opened in 1936: arch. Louis Skidmore, Nathaniel Owings) [6; 7]. The visual lightness of glass and metal surfaces formed by standard, unified elements, the relative simplicity of the shape geometry, and the accentuated utilitarianism have become recognizable features of the company's corporate identity [8]. At the same time, the desire to use various options for improving energy efficiency is becoming more and more evident in projects. Among them, the use of wind flows and solar energy stands out most clearly.

However, the initially advertised rejection of classical decorations and ornaments bearing regional characteristics has recently been transformed. For example, in the complex "Esentai tower", built in Almaty (Kazakhstan) in the middle of the first decade of our century, the national ornament is applied. Its elements, made by special treatment of the glass surface, are present in the architectural and artistic solution, although they are not accentuated (maybe this was not in the project, and the ornament is just an addition made by the building owners – in the context of the specifics of the architecture of the Almaty city [9]).



Figure 1. 1, 2. Multifunctional complex "al-Gamra tower", Kuwait, Kuwait, "SOM", 2011 [8].

The original "geometric simplicity of forms" has also evolved into rather complex three-dimensional compositions that interpret the previously ignored regional specificity in a peculiar way. A typical example of this is the multifunctional complex "al-Gamra tower", built in Kuwait (Kuwait). The composition is based on a combination of horizontal and vertical volumes of a parallelepiped shape with rounded corners. The smooth surface of solid glazing has horizontal metric floor divisions in the 77-story volume and vertical – in the 5-story volume. The crown of the tower is made as a compositionally non-centered inclined section. However, the part of the building facing the inner courtyard and oriented to the constantly illuminated by the sun is made in the form of a characteristic diagonal cutout, the shadow on the inner part of which is formed by the outer face of the dissected lapidary surface. In the tower part, it is a broken surface lined with stone and finely perforated with a floor grid of window openings, which has a ledge in the upper third of the facade. Moreover, depending on the function of the floor, the dimensions of the staggered rectangular openings differ in height, and their one-, two- and multi-storey groups are accentuated on the facade. The openings themselves are made in the form of prismatic niches of trapezoidal and parallelogram cross-section, which allows you to get shading located in the depth of the window opening itself. In a horizontally extended volume, the cutout is formed by deep, gallery-forming loggias, with metrically arranged vertical ribs on the outside. The image of the building is perceived as a fabric developing in the wind. Shown in figure 1.

An example, of interpretation of the use of aerodynamic features of the terrain to improve the energy efficiency of construction is the multifunctional building "Pearl Tower" in Guanjou (Guangdong, China) [10]. The three-part composition of the front parts of a narrow parallelepiped is formed by hyperbolic paraboloids that have solid glazing, and airflows from the prevailing wind direction are directed into the horizontal "slots" between them due to the flow around them. In these "slots", the wind is further split by an elliptical surface into two streams that go directly to the wind generators. Narrow end facades are formed by elongated triangular prisms with a peak-like narrowing

up. The three-part composition on these facades is accentuated by diagonally turned cross-shaped elements located at the level of wind-receiving "slots" of wide facades. Commissioned in the same year 2013 as the pearl Tower, the Nanjingkain center Office building in Nanjing (Juangsu, China) is an Orthodox concept of regional neutrality in an "International style". The tower, which has solid glazing, is divided into fourteen five-story levels, each of which has a diagonal break formed by triangular planes. A kind of compositional non-necessity of the folded facade is illustrated visually by a random completion in the form of a simple cut-off of the metric row after the fourteenth level.

The combination of two-story parallelepipeds, made with some displacement relative to each other and the presence of a break in one of the upper volumes, emphasized by a deep loggia under it, demonstrates a four-story Higher education institution in Elizabeth (New Jersey, USA). The lower two floors have different-sized openings and accentuated square wall cladding of dark brown stone. The upper two levels are designed on the contrast of sections of solid stained glass and alternating single paired rectangular Windows on the smooth surface of light gray walls. The courtyard, located on the third floor, is bounded by solid stained glass surfaces, contrasting with small blind areas that have a square stone lining.

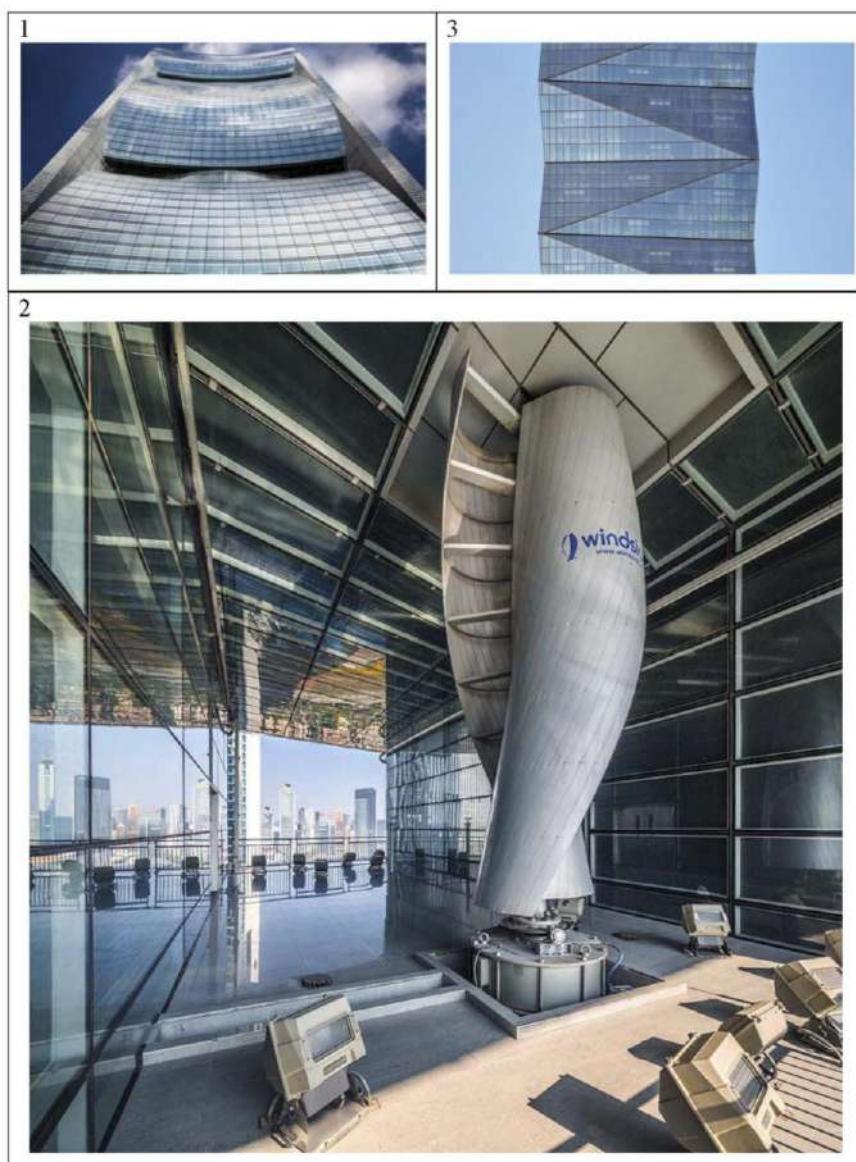


Figure 2. 1, 2. Multifunctional building "Pearl River tower", Guanzhou, Guangdong, China, "SOM", 2013 [8; 10]; **3.** Office building "Nanjing Kain center", Nanjing, Juangsu, China, "SOM", 2013 [8].

Clear metric vertical divisions formed by developed pilasters are demonstrated by the Medical center in Cincinnati (Ohio, USA). Horizontal accents are made by combining three floors of blocks. Moreover, if the block of 2-3-4 floors has the same surface as the pylons, then the crowning block of 6-7-8 floors has cantilever extensions on the sides and is contrastingly glazed with pronounced stripes of window sills. Shown in figure 2.

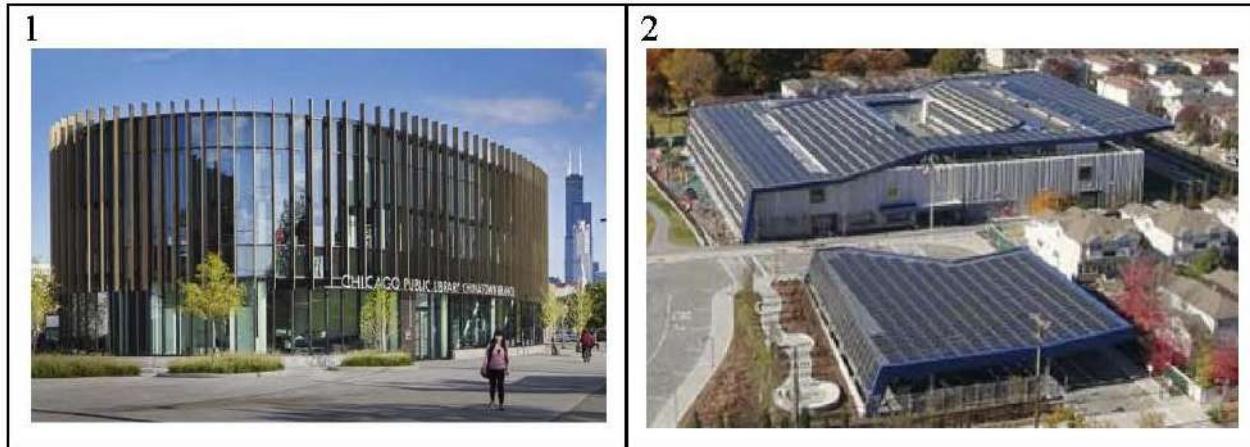


Figure 3. 1. Public library, Chicago, Illinois, USA, "SOM", 2015 [8]; 2. Catlan Grimm School, State island, New York city, USA, "SOM", 2015 [8].

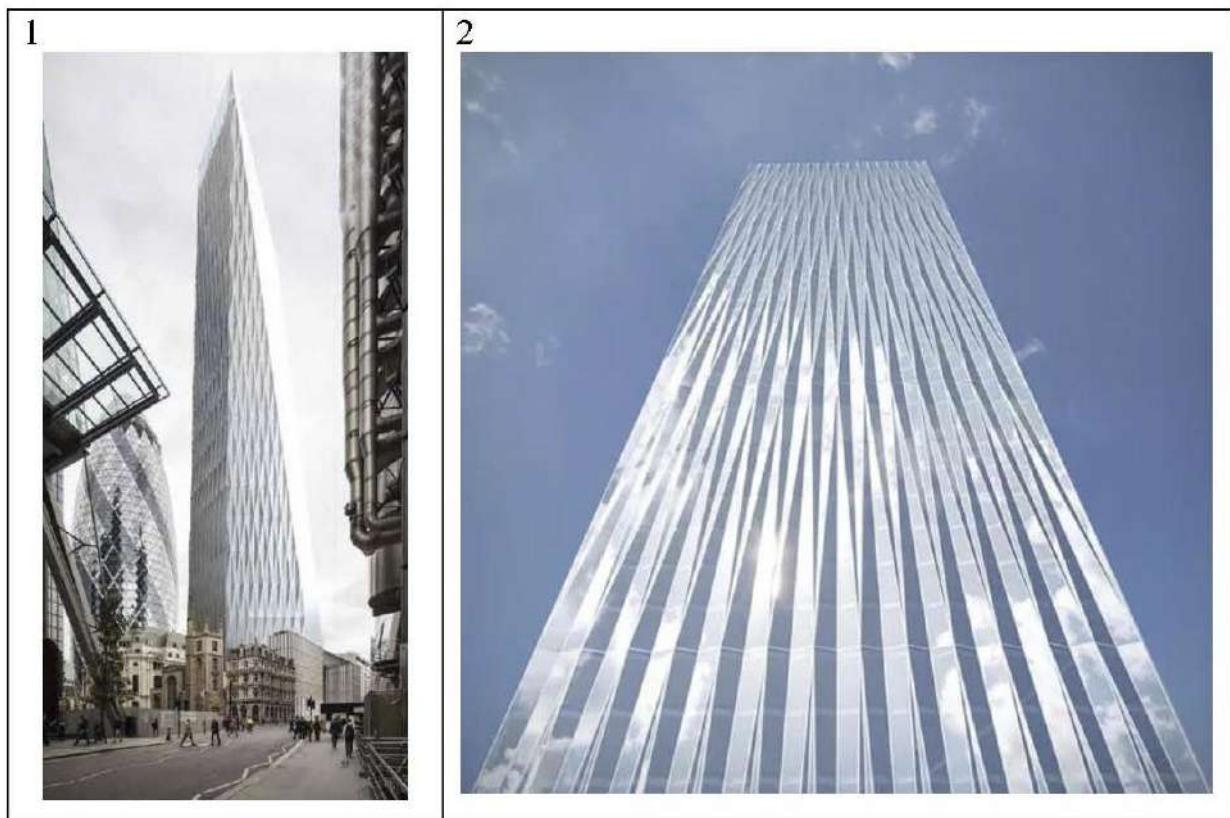


Figure 4. 1, 2. Office building "100 Liadenhall street", London, United Kingdom, "SOM", 2017 [8].

The Public library in Chicago (Illinois, USA) has an oval volume in plan, with thin ribs placed in front of the solid glazing of the second and third floors. Both two-story buildings of the Kathleen Grim School on Staten Island (New York, USA) have a developed, broken flat roof on which solar

generators are located. At the main building, the roof fracture forms a covered space on the second floor floor. From the side that has constant sunlight, the roof is extended to the ground surface. The main volume of each building is a parallelepiped. High rectangular Windows have multi-colored platbands. Shown in figure 3.

Diagonally cut volume of high parallelepiped and pyramid is an Office building "100 Liadenhall Street" in London (United Kingdom). The multi-storey structure with diagonal links alternating every seven floors is visually disguised as having frequent, vertically elongated narrow breaks, with a solid semi-mirrored stained glass window. On the first floors, these diagonal connections are open. The vertical communication node is accentuated by a thick element grid that has floor-by-floor divisions with portal connections. Shown in figure 4.

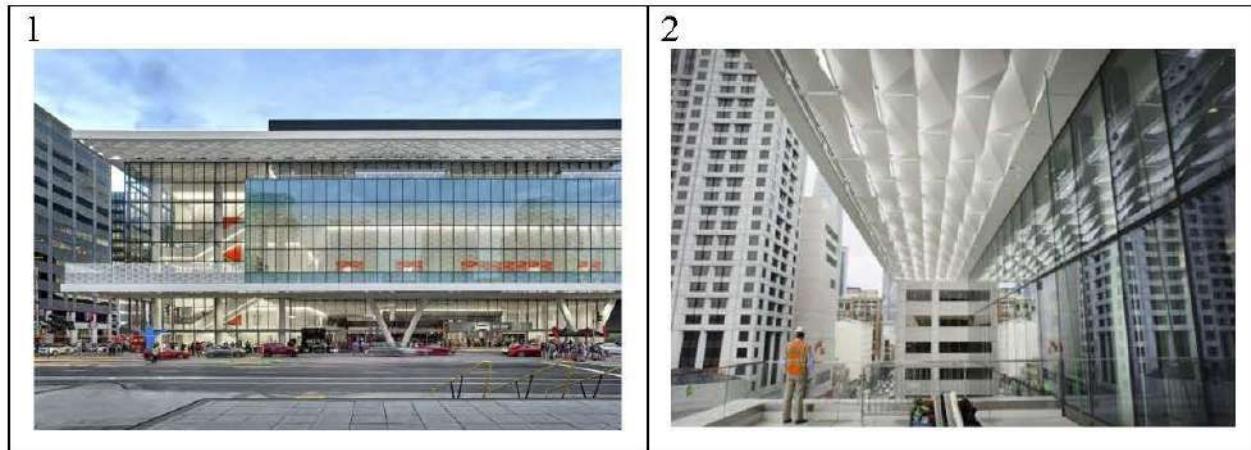


Figure 5. 1, 2. Office building "Moscone center for improvement", San Francisco, California, USA, "SOM", 2018 [8].

The five-story parallelepiped almost completely transparent volume of the Moscone improvement center Office building in San Francisco (California, USA), which has solid stained-glass Windows, is divided at the third floor level by a wide encircling balcony and topped by a thin horizontal roof with large ledges of the cornice. A rib structure with holes is accentuated in the cornice. An active role in the appearance of the building is played by specially illuminated and visible from the outside bright red elements of partitions. Shown in figure 5.

Interestingly, the displaced volumes of the parallelepipeds surrounding the triangular courtyard are indicative of the building of the G. T. I. Headquarters in Geneva (Switzerland). The skew is accentuated by slightly visible imposts of smooth solid stained-glass Windows. In the raised part, the semi-open space is structured by frame columns and diagonal links. Sections of the flat roof that correspond to the slope of the blocks are green. On the roof of the two blocks, between sloping lawns, there are flat operated platforms partially covered by canopies.

Two vertically elongated parallelepipeds connected by three different-height inserts with through openings between them determine the spatial solution of the hotel "Four seasons hotel" in Manama (Bahrain). The lowest, smallest insert protrudes beyond the vertical parallelepiped faces and is located at the level of the fourth and fifth floors and forms a kind of developed canopy over the main entrance area of the building. The next inset is smaller than the faces of the parallelepipeds, and occupies the space between the twelfth and thirty-fourth floors. It has a solid glazing with slightly visible floor divisions with an emphasis on every fourth floor. The upper inset is located between the forty-fifth and forty-eighth floors. The narrow ends of the parallelepipeds have solid glazing throughout the entire height with pronounced accents on the floor-to-floor ceilings and vertical posts.

The psychological training center of the air force Academy in Colorado springs (USA) looks like a combination of a flat parallelepiped with a truncated oblique, rectangular pyramid in cross

section. The lower one-story volume has an accentuated frame with a developed cornice due to the sunken stained-glass glazing. Completely glazed with large-relief glass, having a single volume inside, the pyramid is structured by a triangular grid of imposts, developed inside the room in the form of wide flat ribs.

The building of the Bronx district administration in New York (New York, USA) is formed in a cube-shaped volume with a low prefix in the form of a trapezoidal prism. This prism has developed ribs in the form of wide beams and posts sloping inwards, framing the solid stained glass of the lobby. The main blind volume is covered with metrically arranged small folds, in some places of which, in accordance with the floor structure, there are single or multi-numbered groups of differently high narrow window openings. Shown in figure 6.

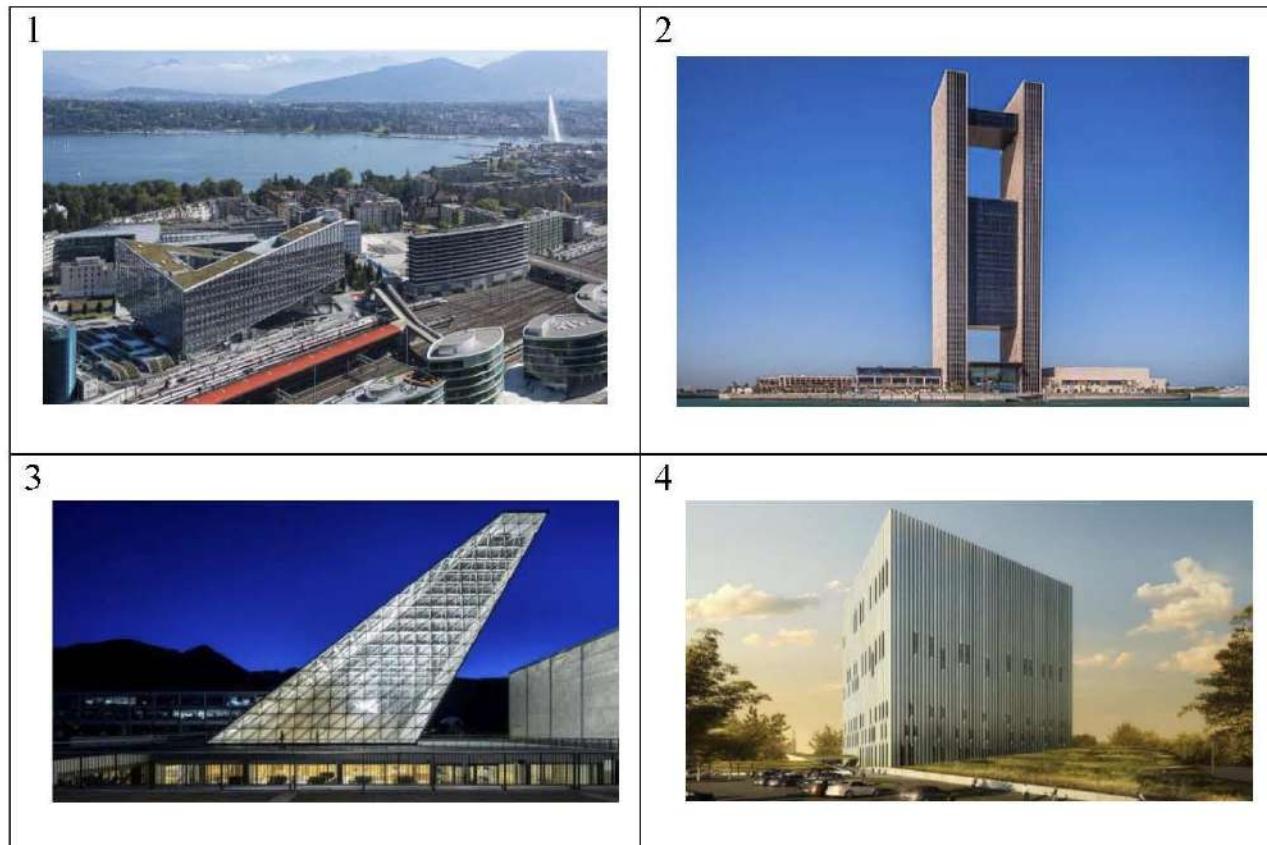


Figure 6. 1. G.T.I. Headquarters, Geneva, Switzerland, "SOM", 2015 [8]; 2. Four seasons hotel, Manama, Bahrain, "SOM", 2015 [8]; 3. Air force Academy psychological training Center, Colorado springs, Colorado, USA, "SOM", 2016 [8]; 4. Bronx district administration Building, New York city, USA, "SOM", 2016 [8].

A large cube placed on two low parallelepipeds is a three-dimensional composition of the Federal courthouse in Los Angeles (California, USA). Low parallelepipeds form two-story blind volumes with deep alternating niches of entrances. The above cube is a multi-story volume. Floors have different heights and different patterns of window openings: from solid floor-to-ceiling glazing to small rectangular and square windows placed with different rhythms on blind surfaces. This structure is masked by a neutral uniformly folded surface located on the outside, formed by smooth and vertically coarsely grooved glass alternating in levels. The external glass folding fence with developed vertical and thinner horizontal imposts rises one floor above the internal volume, visually hiding the small pavilions and units of the building's engineering support systems placed on the roof.



Figure 7.1. Federal courthouse, Los Angeles, California, USA, "SOM", 2016 [8]; 2. Multifunctional building "Beijing Greenland center", Beijing, China, "SOM", 2016 [8].

Staggered glass pyramids connected by square bases form the faces of a high parallelepiped of the Multifunctional building "Beijing Greenland center" in Beijing (China). Each pyramid has a height of one floor, which is indicated by a weakly plastically expressed scheme of imposts. The surface formed by pyramids starts directly from the site adjacent to the building, goes uniformly along the entire height and is crushed in the area of the upper floor and the high fence of the roof being operated. Shown in figure 7.

The axial composition with alternating rectangular blocks is shown at the headquarters of the North Atlantic Alliance in Brussels (Belgium). Eight-story blocks in the Central part have an arc roof that descends to the first floor to the edges. They are United along the axis by intermediate seven-story blocks with a flat roof. In the courtyards that are formed by alternating blocks, open on one side, there are four-story blocks with green roofs that are used. Vertical surfaces are made in the form of solid stained glass Windows with different impost sizes. So, in the extreme blocks in the zones of floor halls, the imposts have the minimum necessary protrusion from the glazing plane for design reasons. The stained glass itself in these parts is located at some distance from the inter-floor ceilings, which creates the effect of a semi-open space. In other parts of the impost have a large value. The stained glass window itself has transparent glazing only in the "working area", and the window sill, including the area of floor-to-floor ceilings, is made with internal opaque glass, emphasizing the floor divisions. In some places in the structure of the stained glass Windows are replaced by paired height bars.

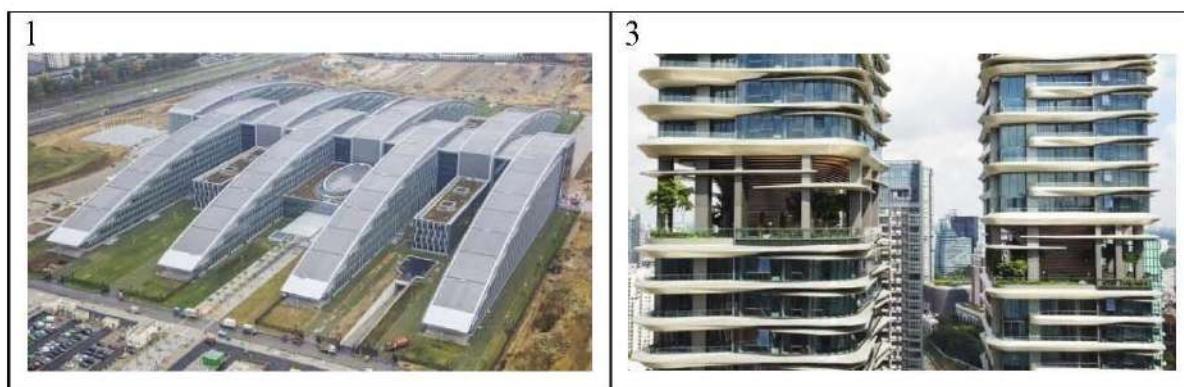


Figure 8.1. NATO Headquarters, Brussels, Belgium, "SOM", 2017 [8]; 2. Multifunctional building, Singapore, Singapore, "SOM", 2017 [8].



Figure 9. 1, 2. Poly international Plaza Multifunctional building, Beijing, China, SOM, 2016 [8].



Figure 10. 1, 2. Multifunctional building, Manila, Philippines, "SOM", 2018 [8].

Multifunctional building in Singapore (Singapore) is a pair of two-tower volume, combined on the first three floors. The interstitial floors are accentuated by undulating cantilevered bifurcated disks. Solid, perimeter disks are located every two floors. The disks located between them are interrupted in the inner corners of the tower volumes. Each floor has solid stained glass Windows. At the level of the twelfth and thirteenth floors, there is an open space, in the depth of which there are stairwells and Elevator shafts with blind surfaces. Shown in figure 8.

Poly international Plaza multi-purpose building in Beijing (China) is a tower volume, the cellular surface of which is formed by triangles paired with a break. Each triangle with solid glazing encloses the outer surface of one floor. The upper eighteenth and nineteenth floors are open spaces with green areas and blocks of building engineering systems. The developed massive external sides

of the paired triangles form pyramidal cells that accentuate the multi-story confirmatively square structure. Shown in figure 9.

Multifunctional building in Singapore (Singapore) is a pair of two-tower volume, combined on the first three floors. The interstitial floors are accentuated by undulating cantilevered bifurcated disks. Solid, perimeter disks are located every two floors. The disks located between them are interrupted in the inner corners of the tower volumes. Each floor has solid stained glass Windows. At the level of the twelfth and thirteenth floors, there is an open space, in the depth of which there are stairwells and Elevator shafts with blind surfaces. Shown in figure 8.

Poly international Plaza multi-purpose building in Beijing (China) is a tower volume, the cellular surface of which is formed by triangles paired with a break. Each triangle with solid glazing encloses the outer surface of one floor. The upper eighteenth and nineteenth floors are open spaces with green areas and blocks of building engineering systems. The developed massive external sides of the paired triangles form pyramidal cells that accentuate the multi-story confirmatively square structure. Shown in figure 9.

A beveled parallelepiped resembling a propeller forms the volume of a multi-Purpose building in Manila (Philippines). Solid exterior glazing forms a clearly perceived multi-story structure with wide window sills and alternating columns. One of the lower corners of the volume is open to a height of five floors. It emphasizes the outer edge, which has a relatively large cross-section. From this corner, the entrance to a multi-colored semi-open hall is formed, the space of which is crossed by transition galleries on several levels. The hall railings are dominated by blank surfaces, some sections of which have vertical landscaping panels. Shown in figure 10.

The step solution has a tower volume of the Multifunctional building "400 lake shore drive" in Chicago (Illinois, USA). The surface is divided into large segments of the same size, which are separated by wide ribs. Each cell of the segment is formed by developed arc imposts at the level of floor-to-floor overlappings. The stained glass Windows located between them are divided into three parts. The narrow sides coincide with the arc, and the wide Central parts coincide with the chord. In this case, the side parts, in contrast to the Central part, have a horizontal impost at the level of the window sill. The top of the volume is not accentuated. The open area on the roof has a high fence, which is a continuation of the facade stained glass. Open green areas are located on the ledges. Shown in figure 11.

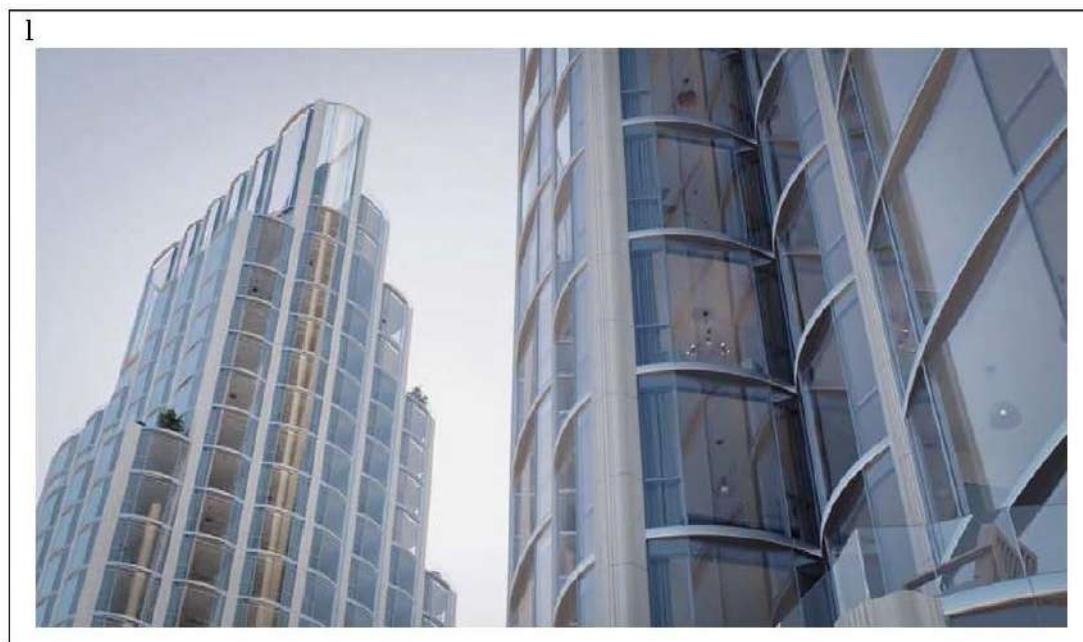


Figure 11. 1. Multifunctional building "400 lake shore drive", Chicago, Illinois, USA, "SOM", 2018 [8].

Accentuated exterior elements of the frame dominate the appearance of a Commercial building in Sydney (Australia), which has the shape of a rectangle in the plan. The developed columns located at the ends are connected by thin diagonal elements every six floors. On the front part of the facade, this division leaves a wide strip of protruding inter-floor overlap. At the same time, the first two floors of the building are completely open, and the first floor itself has a double height relative to the upper floors. Due to the slope of the terrain, a semi-open space of the ground floor appears on one side. This spatial grid encloses a thirty-four-story parallelepiped with solid glazing and thin vertical pillars. The areas between floors are highlighted by opaque panels on the inside of the stained glass window. Shown in figure 12.



Figure 12. 1, 2. Commercial building, Sydney, Australia, "SOM", 2019 [8].

The company "SOM" interprets international style regardless of the region with the maximum use of solid stained glass on buildings that have the shape of parallelepipeds and prisms of various sizes. Solid stained glass in a flat or differently folded form is either an element of the outer wall, or serves as a screen that masks window openings of various sizes and shapes. A characteristic feature of the corporate style of the company "SOM" is the lack of emphasis on the wedding of the facade, which is simply an interrupted stained glass window that encloses the roof with superstructures. In the objects of the 2010s, the forms of buildings designed by "SOM" become more complex, preserving the main features of the corporate style. Surfaces occupied by solar panels are becoming an increasingly important element of the composition. The architectural forms themselves are formed taking into account the possibility of using wind energy. The corporate identity of the company "SOM" opens up the possibility of re-applying projects for another site.

REFERENCES

- [1] Volichenko, O. V., Omuraliev, D. D. The mainstream of the latest architecture is the twenty-first century. - Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2013. -- 449 p.(Volichenko, O.V., Omuraliev, D.D. Meinstramy noveiše arhitektury - dvadsat pervyi vek. - Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2013. - 449 s.)
- [2] Nadeeva I.A., Samoilov K.I. "Ecological orientation of architecture: from natural necessity to conscious need" // Problems of the ancient world and the present / Almaty center of antique studies. Interuniversity scientific collection, vol. IV. - Almaty: Almaty branch of the non-state educational institution of higher professional education "St. Petersburg Humanitarian University of Trade Unions", 2013. - P.498-503.(Nadeeva I.A., Samoilov K.I. «Ekologicheskaya orientasiya arhitektury: ot estestvennoi neobhodimosti k osoznannoi potrebnosti» // Problemy antichnogo mira i sovremennoст / Almatinskii sentr antikovedenija. Mejvuzovskii nauchnyi sbornik, vyp. IV. – g.Almaty: Almatinskii filial negosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrejdenija vysшego professionalnogo obrazovaniya «Sankt-Peterburgskii gumanitarnyi universitet profsozov», 2013. – S.498-503)
- [3] Nadeeva I.A., Samoilov K.I. "Methods of designing energy-efficient buildings" // scientific journal Bulletin of KazGASA №1 (47) section Architecture - Almaty: Publishing house of KazGASA "Architecture and Design", 2013.(Nadeeva I.A., Samoilov K.I. «Priemy proektirovaniya energoeffektivnyh zdaniй» // nauchnyi jurnal Vestnik KazGASA №1 (47) seksii Arhitektura – g.Almaty: Izd.d KazGASA «Arhitektura i Dizain», 2013.)
- [4] Mutaliev, A.D., Samoilov, K.I. Interpretation of sustainable development principles in modern architecture // Science and Education Today, No. 12 (47), 2019. - P.97-101.(Mutaliev, A.D., Samoilov, K.I. Interpretation of sustainable development principles in modern architecture // Nauka i obrazovanie segodnya, № 12 (47), 2019. - S.97-101.)
- [5] O.Priemets, K.Samoilov, I.Zayats, Zh.Kenessarina, E.Yssembayeva Innovations in Kazakhstan's Architecture // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). - Volume-8 Issue-10, August 2019. – P. 2305-2313. - ISSN: 2278-3075
- [6] SOM / Skidmore, Owings & Merrill LLP. – URL: <https://www.som.com>
- [7] "Architect Magazine Names SOM its Number One Architecture Firm in the United States". SOM.com. May 2010. Archived from the original on June 13, 2012. – URL: https://web.archive.org/web/20120613184050/http://www.som.com/content.cfm/architect_magazine_names_som_number_one_firm
- [8] Kuzenbaev D.Sh., Sadvokasova G.K., Samoilov K.I. Architectural concepts of design firms (a style aspect) - Almaty: "Construction and Architecture", 2019. - 186 p.(Kuzenbaev D.Ş., Sadvokasova G.K., Samoilov K.I. Arhitekturnye konsepsi proektnyh firm (stilevoi aspekt) = Architectural concepts of design firms (a style aspect) – Almaty: «Stroitelstvo i Arhitektura», 2019. – 186 s.)
- [9] Priemets, ON, Samoilov, K.I. The development of ornament in the architecture of Almaty = The ornament evolution in the Almaty architecture. - Almaty: Publishing house "Building and Architecture", 2019. - 208 p.(Priemets, O.N., Samoilov, K.I. Razvitie ornamenta v arhitekture Almaty = The ornament evolution in the Almaty architecture. – Almaty: Izdatelskii dom «Stroitelstvo i Arhitektura», 2019. – 208 s)
- [10] Cruickshank, A. World's smartest buildings: Pearl River Tower, Guangzhou // PlaceTech. - 30 Aug 2018. – URL: <https://placetech.net/analysis/worlds-smartest-buildings-pearl-river-tower-guangzhou/>

А. Муталиев, К.И. Самойлов, О.Н. Приемец

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

Қазақ бас сөүлет-құрылыш академиясы, Алматы, Қазақстан

*e-mail: aisher.mutaliev@gmail.com

**"СКИДМОР, ОУИНГС ЭНД МЕРРИЛЛ" КОМПАНИЯСЫНЫҢ
ТРАНСФЕРЛІК МОНОСТИЛИЗМ ТҰЖЫРЫМДАМАСЫНДАҒЫ "ЖАСЫЛ
СӨУЛЕТ" ҚАҒИДАТАРЫН ТУСІНДІРУ**

Андратпа. Скидмор, Оуингс және Мерриллдің шығармашылығындағы трансаймақтық моностилизм тұжырымдамасы қарастырылған, ол 22 жұмыс мысалында қарастырылған. Заманауи сөүлет нарығындағы ең ежелгі компаниялардың бірі - Skidmore, Owings & Merrill - сексен жылдан

астам уақыт бойы Халықаралық стиль тұжырымдамасын Л.Мис ван дер Роэнің шығармашылығына тоқталып, үнемі түсіндіріп келеді. Стандартты, біртұтас элементтерден қалыптасқан шыны металл беттердің визуалды жеңілдігі, формалар геометриясының салыстырмалы қарапайымдылығы, акцентуацияланған утилитаризм компанияның корпоративті ерекшелігінің танымал белгілері болды. Пішіндеудің қосымша аспектілері гимараттардың энергия тиімділігін арттыру әдістерін түсіндіру арқылы қамтамасыз етіледі..

Негізгі сөздер: жасыл сәулет, энергия тиімділігі, жел генераторлары, күн панельдері, фирмалық стиль, шығармашылық тұжырымдама.

А. Муталиев, К.И. Самойлов, О.Н. Приемец

Satbayev University, Алматы, Казахстан

Казахская головная архитектурно-строительная академия, Алматы, Казахстан

*e-mail: alisher.mutaliev@gmail.com

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПРИНЦИПОВ «ЗЕЛЕНОЙ АРХИТЕКТУРЫ» В КОНЦЕПЦИИ ТРАНСРЕГИОНАЛЬНОГО МОНОСТИЛИЗМА КОМПАНИИ «СКИДМОР, ОУИНГС ЭНД МЕРРИЛЛ»

Аннотация. Рассмотрена концепция трансрегионального моностилизма в работе компании «Скидмор, Оуингс энд Меррилл», которая рассмотрена на примере 22 произведений. Одна из старейших компаний на современном архитектурном рынке – «Скидмор, Оуингс энд Меррилл» – на протяжении более чем восьмидесяти лет работы последовательно интерпретирует концепцию «Интернационального стиля», ориентируясь на творчество Л.Мис ван дер Роэ. Визуальная легкость стеклянно-металлических поверхностей, образованных стандартными, унифицированными элементами, относительная простота геометрии форм, акцентируемый утилитаризм стали узнаваемыми чертами фирменного стиля компании. Дополнительные аспекты для формообразования дает интерпретация приемов повышения энергоэффективности зданий.

Ключевые слова: зелёная архитектура, энергоэффективность, ветрогенераторы, солнечные батареи, фирменный стиль, творческая концепция.

¹Н.Т. Жетенбаев*, ²Е.С.Нұргизат, ²Г.К. Балбаев, ²Б.Т. Шингисов, ²Г.Д. Естемесова

¹Satbayev University, Алматы, Казахстан

²Алматинский университет энергетики и связи имени Г.Даукеева, Алматы, Казахстан

*e-mail: nursultan.zhetenbaev@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ИСКУССТВЕННЫХ МЫШЦ

Аннотация. Цель этой статьи – представить обзор применения пневматических искусственных мышц. Высокая прочность и небольшой вес, в то время как про различные типы пневматических искусственных мышц с различными техническими характеристиками появилась относительная научная литература. Эта статья будет обобщать ключевые приложения пневматических искусственных мышц, которые сосредоточены на следующие области: биороботы, медицинские, промышленные, аэрокосмические цели.

Ключевые слова: пневматические искусственные мышцы, мышцы McKibben, биороботы, экзоскелет для ног, робот костюм, манипулятор.

Введение. Пневматическая искусственная мышца McKibben – это жидккая мышца или биомимикрический трубчатый привод, который характеризуется уменьшением длины срабатывания под давлением.

Самый известный член семьи McKibben-а врач Джозеф Л. МакКиббен в 1950-х годах изобрел мышцы, которые были использованы в качестве ортопедического прибора для пациентов с полиомиелитом, в то время как первая коммерциализация пневматической искусственной мышцы была сделана Bridgestone Rubber Company в Японии, в 1980-х годах. Пневматическая искусственная мышца — это очень легкие приводы, которые характеризуются плавным, точным и быстрым откликом, а также способны производить значительную силу, когда полностью растягиваются [1-2].

Изготовление типичной пневматической искусственной мышцы можно найти как длинную трубку из синтетического или натурального каучука, обернутую вручную сеткой, такой как кевлар, под заданным углом. Защитное резиновое покрытие окружает волокнистую обертку, и соответствующие металлические фитинги прикрепляются на каждом конце. Пневматическая искусственная мышца преобразует пневматическую мощность в силу тяги и имеет много преимуществ перед обычными пневматическими цилиндрами, такими как высокое отношение силы к весу, различные возможности монтажа, нет механических частей, заниженный расход сжатого воздуха и низкая стоимость. Когда сжатый воздух подается внутрь резиновой трубы, она сжимается в длину и расширяется радиально. Когда воздух выходит из трубы, внутренняя сетка действует как пружина, которая восстанавливает трубку в ее первоначальном виде. Это приведение в действие напоминает срабатывание пневматического одностороннего действия цилиндра с пружинным возвратом, при этом это обратимая физическая деформация во время сокращения и расширение мышцы приводит к линейному движению. Следует отметить, что наиболее значительным преимуществом использования пневматической искусственной мышцы в приложениях для них — это управление положением, так как должна быть только одна аналоговая переменная управляемой. В то же время для той же операции пневматический цилиндр является двумя аналоговыми переменными, которые должны контролироваться. В результате в пневматическом цилиндре труднее найти равновесие между двумя манометрическими давлениями в камерах, что для этого случая и является пневматическая искусственная мышца.

Типичные типы пневматической искусственной мышцы и соответствующие наименования, изображены на рисунке 1 [1-3].

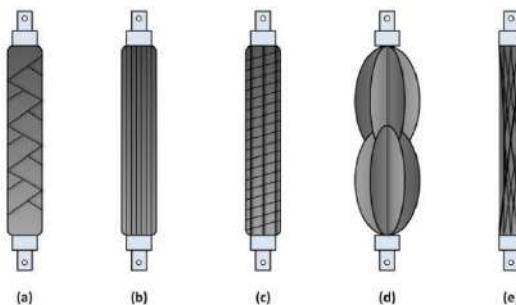


Рисунок 1. Различные типы пневматической искусственной мышцы:

(a) Мынша McKibben, (b) складчатая мынша, (c) мышечная сетка Yarlott, (d) мынша ROMAC и (e) гиперпloidная мынша Paynter.

Методы

Применение пневматической искусственной мышцы.

Биоробот технические применения.

До сих пор пневматические искусственные мышцы применялись в основном в области биороботических применений или в биомиметических роботах. Поскольку эти исполнительные механизмы напоминают характеристики реальных скелетных мышц, исследователи пытались эмулировать «мягкую» совместимую структуру органических мышц, костей, сухожилий и кожи с помощью пневматических искусственных мышц. Этот подход привел к разработке биологически вдохновленных роботов, которые имитируют морфологию и физиология человека и животных. Несколько биороботических применений пневматической искусственной мышцы представлены на рисунке 2 [4].

Первопроходцем, управляемым пневматической искусственной мышцы - роботом, был Shadow Biped Walker (рисунок 2.1) от Shadow Robot Company, гуманоидного робота в натуральную величину, который разрабатывался с 1988 года. Двадцать восемь пневматических искусственных мышц (четырнадцать на каждой ноге) действовали через восемь суставов робота, что дает в общей сложности двенадцать степеней свободы. Гуманоидный робот Intelligent Soft Arm Control или ISAC (рис. 2.2) состоял из двух плеч с шестью степенями свободы и нескольких пневматических искусственных мышц, которые антагонистически приводили в действие каждый сустав плеч. Конструкция шестиногого насекомоподобного робота, называемого «Воздушный жук» (рис. 2.3) с текучими мышцами в качестве исполнительных механизмов и концепцией управления антагонистическими исполнительными механизмами представлен. Был построен прыжковый робот (рис. 2.4), состоящий из нижней и верхней ноги, бедра и тела, которые скользят вдоль направляющего вала с использованием плиссированных пневматических искусственных мышц для движения коленного сустава. Авторы разработали четырехногий прототип робота с четырехсторонним динамическим приводом с пневматическим приводом (PANTER) (рис. 2.5) [5].

Каждая нога PANTER имела четыре активные степени свободы и приводилась в действие пневматическая искусственная мышца. Был представлен робот «Аякс» (рис. 2.6). Аякс был роботом, вдохновленным тараканами, с ногами которыми, управляли через несколько пневматических искусственных мышц. Двуногий робот «Lucy» (рис. 2.7) это двухмерный шагающий робот с двумя шарнирными ножками и корпусом, который использовал 12 пневматических искусственных мышц для 6 степеней свободы. Автономный управляемый двуногий робот «Stumpy» (рис. 2.8) пневматическая искусственная мышца авторы, разработали роботизированную пневматическую мышцу с пневматическим приводом (рис. 2.9), включающую базовый человеческий палец, большой палец, предплечье и локоть движения. Был создан экспериментальный пневматический мышечный велосипедный аппарат

(рис. 2.10), который состоит из модели нижних конечностей человека с одной степенью свободы, приводимой в действие пневматическую искусственную мышцу и установленной на неподвижном велосипеде. Трехногий робот (рис. 2.11) с антагонистическими парами пневматической искусственной мышцы, управляемой сетью нелинейных осцилляторов, был разработан и представлен робот с прыжковым приводом и посадкой с помощью пневматического привода под названием «Mowgli» (рис. 2.12). Искусственная костно-мышечная система Mowgli состояла из шести пневматических искусственных мышц [6].

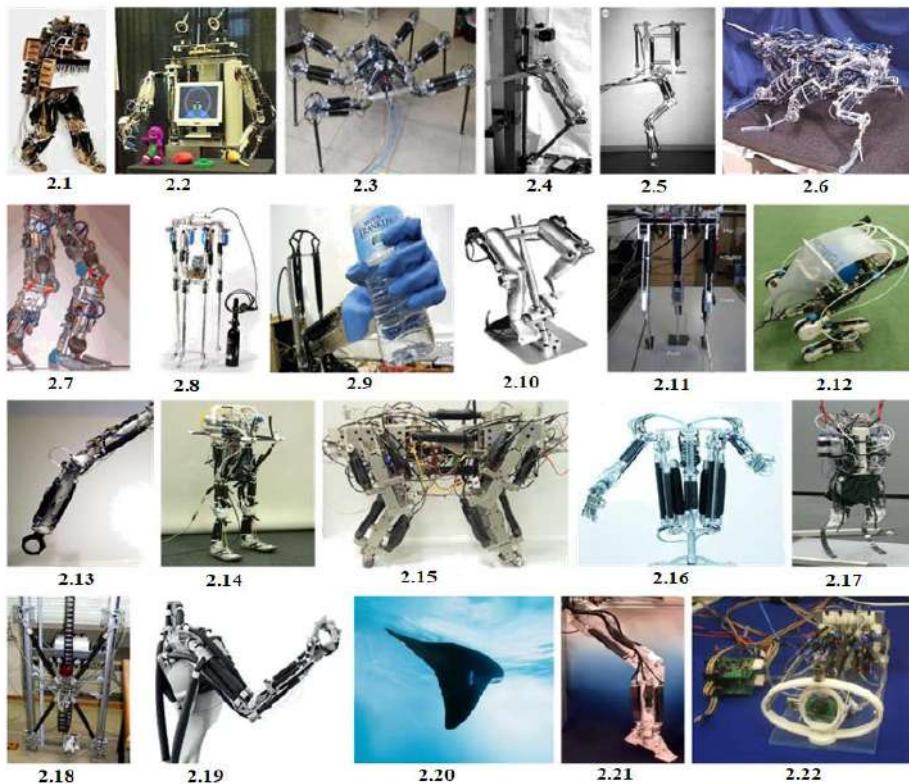


Рисунок 2. Биороботические применения пневматической искусственной мышцы: (2.1) ходунки с тенями, (2.2) Isac, (2.3) воздушная подушка, (2.4) прыжковый робот, (2.5) ножка Panter, (2.6) Ajax, (2.7) Lucy, (2.8) Stumpy, (2.9) Недорогая гуманоидная рука, (2.10) Пневматический велосипед, (2.11) Трехногий робот, (2.12) Mowgli, (2.13) Роботизированная рука, (2.14) Двуногий робот, (2.15) Четырехсторонний робот, (2.16) Пневматический торс, (2.17) Пневматический робот-атлет, (2.18) Пневматический альпинистский робот, (2.19) Рука Airic, (2.20) Aqua Ray, (2.21) Ножка робота-тени, (2.22) Роботизированный глаз с пневматическим приводом.

В концепции гибридного приведения в действие была подтверждена на плече с двумя степенями свободы (рис. 2.13), в котором использовались, по сути, безопасные пневматические искусственные мышцы, дополненные небольшими электрическими приводами, роботизированными звеньями, созданными человеком и костью, и недавно разработанными распределенными компактными регуляторами давления. Был представлен двуногий робот (рис. 2.14) с искусственной костно-мышечной системой на основе пневматической искусственной мышцы. Авторы сконструировали и управляли четырехугольным роботом (рис. 2.15) с пневматической искусственной мышцей в антагонистических парах для управления мышечно-скелетной системой. Был разработан полностью управляемая пневматическая искусственная мышца торса гуманоидного мышечного робота под названием «Zwei Arm Roboter» (рис. 2.16), в человекоподобных пропорциях и функциональности. В роботе пневматического спортсмена (рисунок 2.17) был представлен опорно-двигательный аппарат, управляемый ЧУКОМ и прикладной

человеческой паттерне активации мышц для динамического двуногого бега. Разработка и управление роботом для вертикального лазания (рис. 2.18), приводимый в действие четырьмя пневматическими искусственными мышцами, была описана Компанией Festo AG & Co. Они сконструировали роботизированную руку «Airic» (рис. 2.19), на которой изображены искусственные кости и мышцы. В этом роботе костная структура перемещалась через 30 пневматических искусственных мышц с использованием очень маленьких клапанов, основанных на пьезо-технологии. Кроме того, Festo AG & Co. представила робота «Aqua ray» (рис. 2.20), рыбу с дистанционным управлением, использующую шесть пневматических искусственных мышц в трех антагонистических парах, которые перемещают два крыла и хвост с помощью искусственных сухожилий. Shadow Robot Company представил Shadow Robot Leg (рисунок 2.21), роботизированная нога с пневматическим искусственным мышцом, приводимая в действие человеком, (рисунок 2.20) разработанная для исследования миоэлектрического контроля протезных ног с механическим приводом [1-7].

Медицинское применение

Среди нескольких преимуществ исполнительного механизма пневматической искусственной мышцы - способность обеспечивать высокую выходную мощность при относительно небольших весах и присущие им соответствия, что позволяет удовлетворить потребности в безопасности, простоте и легкости, необходимые для взаимодействия человека и робота. Эти характеристики в сочетании с тем фактом, что пневматическая искусственная мышца обладает свойствами, аналогичными со свойствами человеческой мышцы, делают его перспективным выбором исполнительного механизма для терапевтических устройств, которые предназначены для реабилитационной терапии пациентов, страдающих дегенеративными заболеваниями мышц, нарушениями конечностей или неврологическими травмами, которые влияют на их кинетические способности. В этом подразделе будут представлены пневматические искусственные мышцы, ориентированные на медицинские приложения. Большинство из этих приложений изображены на рисунке 3[1-8].

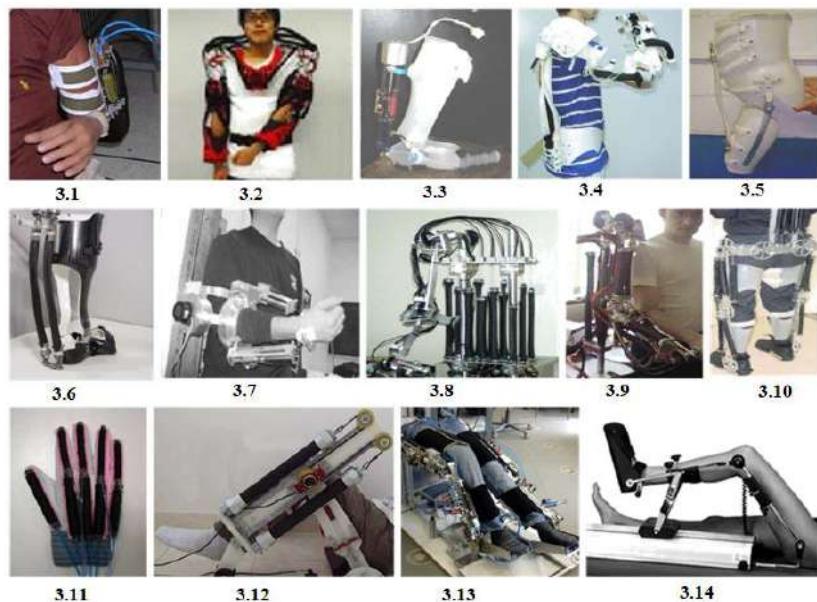


Рисунок 3. Медицинское применение пневматической искусственной мышцы: (3.1) пневматическая искусственная мышца активированного предплечья, (3.2) Костюм мышц, (3.3) Ортез на голеностопном суставе, (3.4) Руперт, (3.5) Пневматический ортез бедра, (3.6) Пневматический ортез стопы, (3.7) экзоскелет верхней части туловища, (3.8) экзоскелет верхней части тела, (3.9) экзоскелет верхней части тела, (3.10) экзоскелет нижней части тела, (3.11) вспомогательная перчатка с пневматическим приводом, (3.12) устройство для реабилитации коленного сустава, (3.13) ортез для дома тренировка, (3.14) Экзокинетическое оборудование для восстановительных упражнений.

Сообщалось о работе пневматической искусственной мышцы, используемого в прототипе робота-манипулятора, установленного на инвалидной коляске. Разработка и управление системой Human Muscle Enhancer (HME) была описана в системе расширения мышечных возможностей субъектов, нуждающихся в частичной поддержке походки нижней части тела. Конструкция двуногой системы движения использовала пневматическую искусственную мышцу для обеспечения пневматической мощности, необходимой для работы роботизированного ортеза с поддержкой движения [1].

В работе авторы изучили использование регулируемых и контролируемых пар антагонистических пневматических искусственных мышцы, соответствующих нормативным требованиям, при создании ловких протезов рук и создании вспомогательного устройства, которое может быть использовано для увеличения силы тех, кто страдает от дегенеративных заболеваний мышц, пневматическая искусственная мышца, управляемая протезным предплечьем (рис. 3.1) с группами мышц-сгибателей и разгибателей. Развитие мышечного костюма броневого типа (рис. 3.2), обеспечивающего мышечную поддержку парализованным пациентам. Мышечный костюм представлял собой одежду без металлического каркаса, в которой использовались пневматические искусственные мышцы, приводимые в движение сжатым воздухом. Был создан мощный ортез голеностопного сустава (рис. 3.3) для реабилитации ног. Пневматическая искусственная мышца использовалась, чтобы обеспечить единственную суставную поддержку подошвенного сгибания в различных фазах походки. Было описано терапевтическое устройство, называемое RUPERT (рис. 3.4), которое имело пять степеней свободы и было запитано через четыре пневматических искусственных мышцы. Это устройство могло обеспечить дополнительную терапию в дополнение к клиническому лечению пациентов с нарушениями верхних конечностей. Экзоскелет (рис. 3.5), состоящий из тазобедренного ортеза с пневматической искусственной мышцей, был разработан, чтобы помочь движениям нижней конечности, когда был установлен физический недостаток. Авторы разработали мощный ортез голеностопного сустава (рис. 3.6), в котором использовались пневматические искусственные мышцы для оказания помощи пациентам во время реабилитации походки после травмы. Была представлена конструкция экзоскелета рычага с пятью степенями свободы пневматической искусственной мышцы (рис. 3.7) для обучения и реабилитации в виртуальных средах. Авторы разработали совместимые с пневматическими искусственными мышцами экзоскелеты, которые позволяют выполнять физиотерапию верхней (Рис. 3.8-3.9) и нижней конечности (рис. 3.10). Была описана носимая перчатка с усилителем мощности (рис. 3.11), приводимая в действие резиновыми пневматическими искусственными мышцами [1-9].

Промышленное применение

Использование пневматической искусственной мышцы в строительстве промышленных роботов получило значительное внимание в последние годы. Пневматические искусственные мышцы способны генерировать высокие крутящие моменты на низких и умеренных скоростях, могут легко устанавливаться без зубчатой передачи и работать как привод переносных механизмов благодаря их легким свойствам. Обладая, кроме того, естественной совместимостью и ударо-прочностью, пневматические искусственные мышцы являются подходящим решением для приведения в действие промышленного оборудования и, в частности, промышленных роботов для безопасного взаимодействия человека с роботом. Несколько промышленных применений пневматических искусственных мышц представлены на рисунке 4[10].

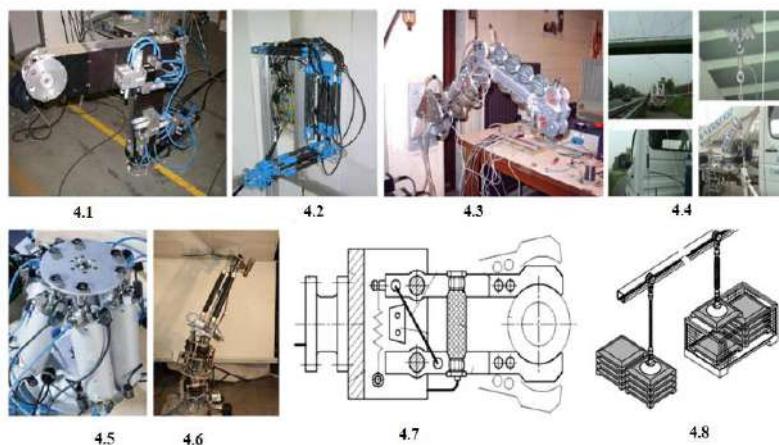


Рисунок 4. Промышленное применение пневматической искусственной мышцы: (4.1) Пневматический робот 3-степени свободы, (4.2) пневматическая искусственная мышца - система манипуляторов, управляемых пневматической искусственной мышцей, (4.3) 2- степени свободы планарный робот-манипулятор (4.4) пневматическая искусственная мышца, используемые в модальных параметрах мостов, (4.5) Параллельно-кинематический инструмент hexapod, (4.6) Гибридный робот для безопасного взаимодействия человека с роботом, (4.7) Промышленный захват, (4.8) Система позиционирования.

Авторы разработали многоцелевой манипулятор с тремя пальцами и противоположным большим пальцем, приводимый в действие 18 плетеными пневматическими искусственными мышцами. Разработка модульного пневматического элемента с одной степенью свободы и роботизированной руки с тремя степенями свободы (рис. 4.1) на основе резиновых пневматических искусственных мышц была разработана резиновая система манипулятора с приводом от пневматических искусственных мышц (рис. 4.2) с шестью степенями свободы и планарный робот-манипулятор с двумя степенями свободы (рис. 4.3), который помогал обрабатывать тяжелые грузы и приводился в действие с помощью плиссированной пневматической искусственной мышцы. Авторы предлагают прототип конструкции телев-операционной установки для извлечения радиоактивного материала, в которой используется комбинация традиционного полюса манипуляции с ручным управлением в сочетании с пневматической искусственной мышцей. Идентификация модальных параметров мостов (рис. 4.4) с использованием пневматических искусственных мышц был введен параллельный кинематический инструмент hexapod (рис. 4.5), управляемый пневматическими искусственными мышцами. Робот состоял из шести дискретных линейных приводов, каждый из которых был собран как антагонистической установке пневматической искусственной мышцы с датчиками давления и положения. Авторы разработали прототип гибридного робота (рис. 4.6), который включал два сильфона и один модуль с пневматической искусственной мышцы приводом для безопасного взаимодействия человека с роботом [1].

Сообщалось о других промышленных применениях приводов пневматических искусственных мышц. Одним из них был процесс захвата (рис. 4.7), когда пневматическая искусственная мышца была установлена достаточно близко к центру вращения пальца, в то время как эта короткая мышца была достаточной для выполнения зажимного движения. Пневматическую искусственную мышцу также можно использовать в простых системах позиционирования (рис. 4.8). В этом случае обрабатываемые детали можно поднимать или опускать по мере необходимости, создавая давление или истощая мышцу с помощью ручного клапана [1-10].

Аэрокосмические применения

Авторы разработали систему —AGAS, автономно управляемую развертываемую систему воздушной капли, которая состояла из круглого парашюта, которым управляли через четыре пневматических искусственных мышц, в то время как пневматическая искусственная

мышца -активируемая заслонка задней кромки для управления полетом (рис. 5.1) была представлена приложением для схем приведения в действие морфирующей ячейки для секции крыла и закрылков задней кромки, для крыльев или лопастей вертолета.

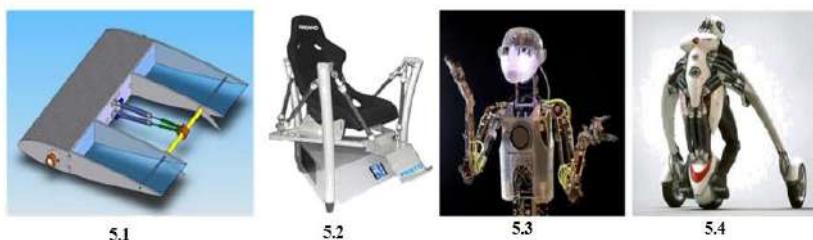


Рисунок 5. Аэрокосмическое и другое применение пневматических искусственных мышц: (5.1) пневматическая искусственная мышца -активируемая заслонкой задней кромки, (5.2) FM-сиденье движения, (5.3) Robo Thespian, (5.4) Deus Ex Machina.

Другие применения

Было разработано сиденье «Motion Seat» (рис. 5.2), имитатор вождения и полета, основанный на шестигранной конструкции с 6 пространственно ориентированными РАМ, которые перемещали сиденье по всем 6 осям, а также действовали как пассивная подвеска. Компания Engineered Arts Limited (Penryn, Корнуолл, Великобритания 2010) разработала «Robo Thespian» (Рисунок 5.3). Этот робот был роботизированный человекоподобный робот в натуральную величину, созданный для обучения, общения, взаимодействия и развлечений. Джейк Лоняк (Art Center Pasadena, California, 2008) разработал электрический проект «Deus Ex Machina» (рисунок 5.4) для одного пассажира — это, стоянка в вертикальном положении и носимый мотоцикл. С семью искусственными позвонками за шлемом, для поддержки головы водителя, управление «Deus Ex Machina» было достигнуто с помощью 36 пневматических мышц и 2 линейных приводов в сочетании с телом гонщика [1].

Результаты

Пневматическая искусственная мышца нашла применение в следующих областях знаний: биороботы, медицинские, промышленные, аэрокосмические цели. Пневматическая искусственная мышца преобразует пневматическую мощность в силу тяги и имеет много преимуществ перед обычными пневматическими цилиндрами, такими как высокое отношение силы, к весу, различные возможности монтажа, нет механических частей, заниженный расход сжатого воздуха и низкая стоимость.

В данной работе результат заключается в медицинский экзоскелет нижних конечностей и ортеза.

С каждым годом наблюдается рост количества людей с ограниченной мобильностью. Этот фактор влияет на качество жизни людей. Для таких людей необходимо проводить различного рода физиотерапевтические процедуры. С помощью роботизированных устройств производится тренировка движений людей с помощью контролируемых упражнений. Недостатки существующих реабилитационных роботизированных решений выявили необходимость разработки малозатратных устройств, позволяющих проводить реабилитацию пациентов с поврежденными конечностями. Экзоскелет с искусственными мышцами поможет людям восстановить функцию отдельных суставов нижних конечностей, которые успешно используются для реабилитации больных после травм. Также мышцы могут выступать связующим звеном между человеческим телом и сенсорами, которые могут быть использованы при создании протезов нового поколения.

Обсуждение

В этой статье был представлен обзор применения пневматических искусственных мышц. Было представлено краткое моделирование широко используемой геометрической модели пневматической искусственной мышцы, в то время как внимание было сосредоточено на

наиболее значимых приложениях в следующих областях: биоробот, в медицине, промышленные и аэрокосмические применения. Эти приложения сопровождаются достаточным количеством ссылок, превращая эту статью в фундаментальное руководство по началу работы с приложениями с пневматическими искусственными мышцами.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Qin Tu., Yanjie Wang., Donghai Yue., and Frank Agyen Dwomoh «Analysis on the Impact Factors for the Pulling Force of the McKibben Pneumatic Artificial Muscle by a FEM Model» Hindawi Journal of Robotics Volume 2020, 1-11 p.
- [2] G. Zhong, Y. Hou, and W. Dou, «A soft pneumatic dexterous gripper with convertible grasping modes», International Journal of Mechanical Sciences, vol. 153, pp. 445–456, 2019.
- [3] Z. S. Sun, Z. H. Guo, and W. Tang, «Design of wearable hand rehabilitation glove with soft hoop-reinforced pneumatic actuator», Journal of Central South University, vol. 26, no. 1, pp. 106–119, 2019.
- [4] Jakub Takosoglu «Angular position control system of pneumatic artificial muscles» Open Eng. 2020; 10:681–687
- [5] Morita R., Nabae H., Endo G., and Suzumori K., «A Proposal of a New Rotational-Compliant Joint with Oil-Hydraulic McKibben Artificial Muscles», J. Adv. Rob., 2018, 32(9), pp. 511–523.
- [6] Thomalla S., and Van De Ven J., “Modeling and Implementation of the McKibben Actuator in Hydraulic Systems,” IEEE Trans. Rob., 34(6), pp. 1593–1602., 2018.
- [7] Ashwin K.P., and Ghosal A., «Static Modeling of Miniaturized Pneumatic Artificial Muscles, Kinematic Analysis, and Experiments on an Endoscopic End-Effector», IEEE/ASME Trans. Mechatronics, 2019, 24(4), p. 1429
- [8] Andrikopoulos G., Nikolakopoulos G., and Manesis S., «A survey on applications of pneumatic artificial muscles», in Control & Automation (MED), 2011 19th Mediterranean Conference on. IEEE, 2011, pp. 1439–1446.
- [9] Escobar F., Diaz S., Gutierrez C., Ledeneva Y., Hernández C., Rodríguez D., Lemus R., «Simulation of control of scara robot actuated by pneumatic artificial muscles using RNAPM» Vol.12, México, October 2014, pp.2-6.
- [10] I. Boblan and A. Schulz, «A Humanoid Muscle Robot Torso with Biologically Inspired Construction», in ISR 2010, 41st International Symposium on Robotics and ROBOTIK 2010, 6th German Conference on Robotics, Munich, Germany, 2010.
- [11] Жетенбаев Н.Т., Балбаев Г.К. Робототехника және өнеркәсіптегі жасанды бұлшық еттер. КазҰТЗУ Хабаршысы, №2, 2020, Алматы, Казахстан.
- [12] Жетенбаев Н.Т., Балбаев Г.К.. «Искусственные мышцы в бионике и робототехнике», Труды Сатпаевских Чтений, 2019, Алматы, Казахстан, с. 1138-1142.
- [13] Жетенбаев Н.Т., Балбаев Г.К. «Робототехникадағы жасанды бұлшықеттер» «Global science and innovations 2020: Central Asia», серия «Технические науки», I Том, № 3(3), 2020, Нур-Султан, с.33-37.
- [14] Жетенбаев Н.Т., Балбаев Г.К.. «McKibben жасанды бұлшықеті». Материалы международной научной конференции студентов и молодых ученых «Фараби әлемі», 2020, Алматы, Казахстан, 2020, с. 69.
- [15] Жетенбаев Н.Т., Аманкосов Т. Г., Сакаев А.Д., Балбаев Г.К.. Разработка и тестирование искусственных мышцы. Труды Сатпаевских чтений, Т. II, 2020, Алматы 2020.

REFERENCES

- [1] Qin Tu., Yanjie Wang., Donghai Yue., and Frank Agyen Dwomoh «Analysis on the Impact Factors for the Pulling Force of the McKibben Pneumatic Artificial Muscle by a FEM Model» Hindawi Journal of Robotics Volume 2020, 1-11 p.
- [2] G. Zhong, Y. Hou, and W. Dou, «A soft pneumatic dexterous gripper with convertible grasping modes», International Journal of Mechanical Sciences, vol. 153, pp. 445–456, 2019.
- [3] Z. S. Sun, Z. H. Guo, and W. Tang, «Design of wearable hand rehabilitation glove with soft hoop-reinforced pneumatic actuator», Journal of Central South University, vol. 26, no. 1, pp. 106–119, 2019.
- [4] Jakub Takosoglu «Angular position control system of pneumatic artificial muscles» Open Eng. 2020; 10:681–687
- [5] Morita R., Nabae H., Endo G., and Suzumori K., «A Proposal of a New Rotational-Compliant Joint with Oil-Hydraulic McKibben Artificial Muscles», J. Adv. Rob., 2018, 32(9), pp. 511–523.

- [6] Thomalla S., and Van De Ven J., "Modeling and Implementation of the McKibben Actuator in Hydraulic Systems," IEEE Trans. Rob., 34(6), pp. 1593–1602., 2018.
- [7] Ashwin K.P., and Ghosal A., «Static Modeling of Miniaturized Pneumatic Artificial Muscles, Kinematic Analysis, and Experiments on an Endoscopic End-Effector», IEEE/ASME Trans. Mechatronics, 2019, 24(4), p. 1429
- [8] Andrikopoulos G., Nikolakopoulos G., and Manesis S., «A survey on applications of pneumatic artificial muscles», in Control & Automation (MED), 2011 19th Mediterranean Conference on. IEEE, 2011, pp. 1439–1446.
- [9] Escobar F., Diaz S., Gutierrez C., Ledeneva Y., Hernández C., Rodríguez D., Lemus R., «Simulation of control of scara robot actuated by pneumatic artificial muscles using RNAPM» Vol.12, México, October 2014, pp.2-6.
- [10] I. Boblan and A. Schulz, «A Humanoid Muscle Robot Torso with Biologically Inspired Construction», in ISR 2010, 41st International Symposium on Robotics and ROBOTIK 2010, 6th German Conference on Robotics, Munich, Germany, 2010.
- [11] Zhetenbaev N.T., Balbaev G.K. Robototekhnika zhane onerkasiptegi zhasandy bulshyk etter. KazYTZU Khabarshysy, №2, 2020, Almaty, Kazakhstan.
- [12] Zhetenbaev N.T., Balbaev G.K.. «Iskusstvennye myshtsy v bionike i robototekhnike», sektsiya «Robototekhnicheskie sistemy i priborostroenie», Trudy Satpaevskikh Chtenii, 2019, Almaty, Kazakhstan, s. 1138-1142.
- [13] Zhetenbaev N.T., Balbaev G.K. «Robototekhnikadagy zhasandy bulshyketter» «Global science and innovations 2020: Central Asia», seriya «Tekhnicheskie nauki», I Tom, № 3(3), 2020, Nur-Sultan, s.33-37.
- [14] Zhetenbaev N.T., Balbaev G.K.. «McKibben zhasandy bulshyketi». Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh «Farabi alemi», 2020, Almaty, Kazakhstan, 2020, s. 69.
- [15] Zhetenbaev N.T., Amankosov T. G., Sakaev A.D., Balbaev G.K.. Razrabitka i testirovaniye iskusstvennykh myshtsy. Trudy Satpaevskikh chtenii, T. II, 2020, Almaty 2020.

Н.Т. Жетенбаев, Е.С. Нұргизат, Г.К. Балбаев, Б.Т. Шингисов, Г.Д. Естемесова

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: nursultan.zhetenbaev@mail.ru

ПНЕВМАТИКАЛЫҚ ЖАСАНДЫ БҮЛШЫҚЕТТЕРДІҢ ҚОЛДАНЫЛУЫН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Бұл мақаланың мақсаты пневматикалық жасанды бүлшықеттерді қолдануға шолу жасау. Жоғары беріктігі мен салмағы аз, ал әртүрлі техникалық сипаттамалары бар пневматикалық жасанды бүлшықеттердің әртүрлі түрлері туралы салыстырмалы ғылыми әдебиеттер пайда болды. Бұл мақалада пневматикалық жасанды бүлшықеттердің негізгі қосымшалары жинақталды келесі бағыттарға: биороботтар, медициналық, өнеркәсіптік, аэробарыштық мақсаттар үшін.

Негізгі сөздер: пневматикалық жасанды бүлшықеттер, McKibben бүлшықеттері, биороботтар, аяқ экзоскелеті, робот костюмі, манипулятор.

N.T. Zhetenbaev, Y.S. Nurgizat, G.K. Balbayev, B.T. Shingissov, G.D. Yestemessova

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

²Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: nursultan.zhetenbaev@mail.ru

RESEARCH AND APPLICATION OF PNEUMATIC ARTIFICIAL MUSCLES

Abstract. The purpose of this article is to provide an overview of the application of pneumatic artificial muscles. High strength and light weight, while there is a relative scientific literature about different types of pneumatic artificial muscles with different technical characteristics. This article will summarize the key applications of pneumatic artificial muscles that focus on the following areas: biorobots, medical, industrial, aerospace purposes.

Keywords: pneumatic artificial muscles, McKibben muscles, biorobots, exoskeleton for legs, robot suit, manipulator.

А.Е. Ержанова*

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

*e-mail: erjanova_akbota@mail.ru

СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА РАСТЕНИЙ ПО ВЕГЕТАЦИОННЫМ ПЕРИОДАМ ДЛЯ АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Аннотация. В статье представлен материал и методика исследований космических изображений, основанных на анализе спектрального коэффициента яркости.

На основе данных, полученных в ходе экспериментов для получения численных значений СКЯ, которые опубликованы в открытой печати, выявлены закономерности поведения процессов отражения грунтов и растительности, и предложена кластеризация диапазонов мультиспектрального распределения волн, на которых можно однозначно выявить вид рассматриваемых объектов. Так как распределение СКЯ растений различаются по вегетационным периодам, то для них также предложена вышеуказанная кластеризация диапазонов СКЯ. Следует отметить, что распределение спектров яркости зависит от климатических, географических условий произрастания видов растений и для каждого региона является уникальным. Данное исследование связано с Акмолинской областью, которая сама делится на четыре зоны.

Данные СКЯ, принадлежащие кластерам, отражают нормальное развитие видов растений. Если имеются отклонения, то есть СКЯ не принадлежит кластеру, тогда имеется алгоритм, который выявляет причину отклонения и предлагает план мероприятий по устранению недостатка.

Ключевые слова: длина волн, отражательная способность, спектральный коэффициент яркости, вегетационный период, растения, сельхозкультура, кластеризация.

Введение. Для анализа результатов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и подстилающей поверхности как правило выделяют и рассматривают три интервала спектра электромагнитного излучения: видимый, инфракрасный и микроволновый.

В данной работе рассматриваются значения яркости в различных интервалах электромагнитного спектра, для получения информативных интервалов для выделения исследуемого объекта, например для выделения типов грунтов и почв, видов растительности, влажности, поражения сельскохозяйственных культур. Данная методика создания графиков СКЯ позволяет выделить вид растительности или подстилающей поверхности и т.д.

В работах ученых [9-13] для выявления вида рассматриваемого объекта используется сравнение изображения этого объекта с эталонным изображением. Для сравнения используются статистические методы по большой выборке данных двух изображений, которые требуют больших вычислительных ресурсов, а также индексы NDVI, а использование индексов NDVI имеют один недостаток: для одного значения NDVI соответствуют множество пар значений СКЯ, что влечет неоднозначность результатов исследования. Для обхода данной проблемы используется следующая процедура: на основе значений СКЯ создается NDVI - индексное изображение, что также требует дополнительных вычислений.

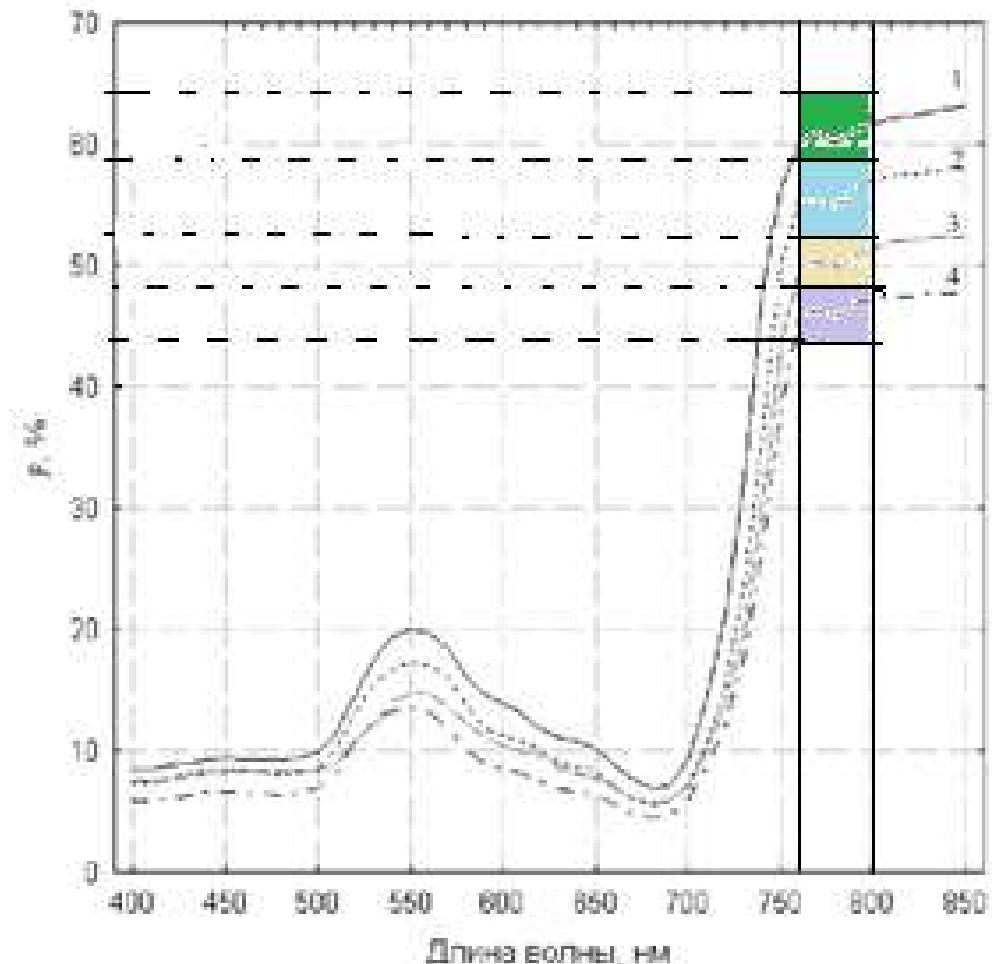
В нашем исследовании мы выявили кластеры в мультиспектральных изображениях, и эти кластеры позволяют использовать минимальные вычислительные ресурсы. В нашем случае используются только значения СКЯ и выделенные нами кластеры, что влечет минимальные вычислительные ресурсы.

Спектральные характеристики и отражательная способность растений зависят от их характеристик. Когда накапливается в растение хлорофилл и разные пигменты, изменится их поглощательная и отражательная способность. СКЯ сельхозкультур меняется по вегетационным периодам следующим образом: после диапазона 0,66 мкм-0,68 мкм растет до

ближнего инфракрасного спектра, причина – полное формирование плотности растения, а затем убывает по мере возрастания длины волн.

Экспериментальные данные и методы анализа данных. Анализ изображений на основе СКЯ позволяет распознать вид растения и изменения в растениях по вегетационным периодам. Наши исследования позволяют обнаруживать здоровое ли растение, если нет, то какие негативные факторы повлияли на растение: болезнь, увядание, нехватка удобрений, поражение насекомыми и так далее, а также прогнозировать урожайность.

Рисунок 1 показывает, как можно организовать разбиение спектра коэффициентов яркости, для дальнейшего распознавания вида культур и её нормального роста.



1- ячмень, 2 - многолетняя трава, 3 - овес, 4 – пшеница.

Рисунок 1. Выделенные интервалы для идентификации нормально развитых сельхозкультур [2]

Для длины волн от 760 нм до 800 нм: - выделяет область, где определяется СКЯ [59; 64] для нормальной развитие ячменя; - выделяет область, где определяется СКЯ [54; 58] для нормальной развитие многолетней травы; - выделяет область, где определяется СКЯ [48; 53] для нормальной развитие овса; - выделяет область, где определяется СКЯ [43; 47] для нормальной развитие пшеницы.

Таблица 1. Коэффициент спектральной яркости сельхозкультур. [4]

Длина волны, нм	Пшеница	Ячмень	Овес	Рожь	Картофель
Значения КСЯ					
400	3	4	2,8	2,5	3,6
450	4	5	3,3	3,5	5,95
500	4	5,6	4,2	4,6	6,65
550	7	7,5	8,1	8,2	9
600	5,5	7,5	7,5	7	8,9
650	5	6,8	6,8	7,5	8,25
700	5	9,5	9,8	15	15
750	18,5	18,7	26	31,2	29,6
800	20,5	20,9	30	33,7	36
850	21	22,3	31,8	35,8	39,6
900	22	23,7	32,7	38	40,7
950	24	25,6	31,6	38,5	40,85
1000	27	28,3	33,5	37,4	39,25
1050	27	29,2	34,6	36,2	38,6
1100	27,2	29,4	36	38,3	39
1150	25	27,4	29,6	36,2	37,35
1200	26	28,1	31,4	31,7	34,9

По данным таблицы 1 строим графики спектральных кривых для кластеризации диапазонов волн.

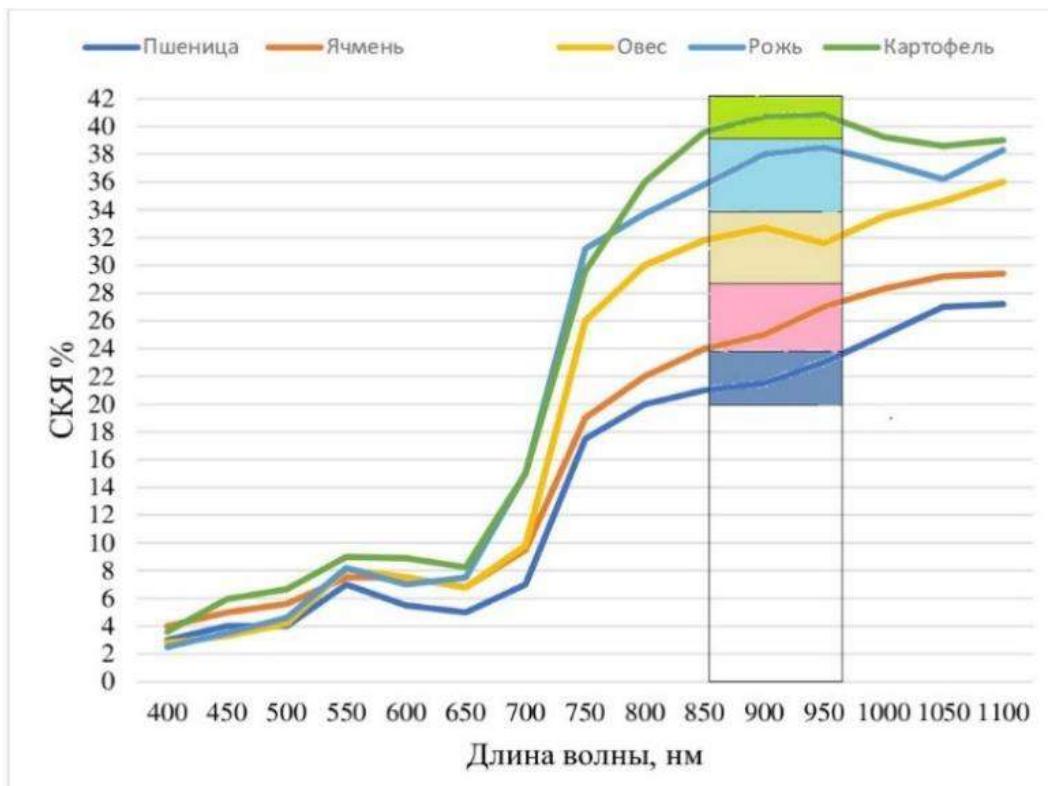


Рисунок 2. Выделенные интервалы для идентификации сельхозкультур

Выходы для длины волн от 850 нм до 950 нм:

- 1)  - выделяет область, где определяется СКЯ [39; 42] для нормальной развития картофеля;
- 2)  - выделяет область, где определяется СКЯ [34; 39] для нормальной развития ржи;
- 3)  - выделяет область, где определяется СКЯ [29; 34] для нормальной развития овса;
- 4)  - выделяет область, где определяется СКЯ [24; 29] для нормальной развития ячменя;
- 5)  - выделяет область, где определяется СКЯ [20; 24] для нормальной развития пшеницы.

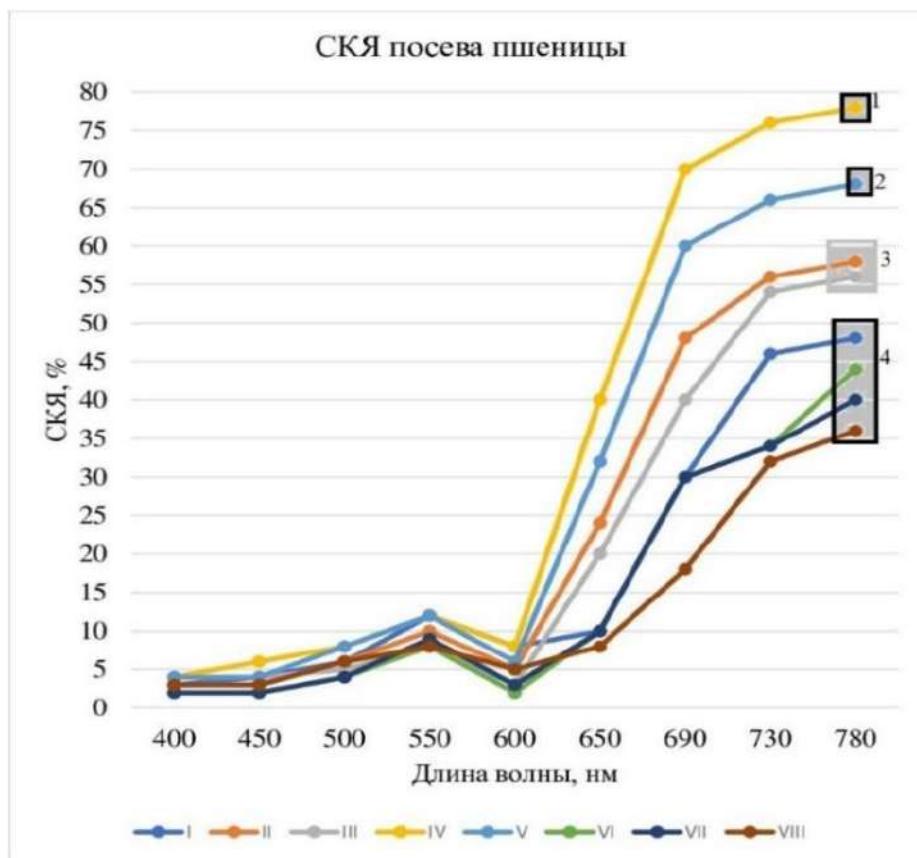


Рисунок 3. СКЯ посева пшеницы

Выходы для длины волн от 750 нм до 780 нм:

- 2) I-10.06; VI-14.08; VII-22.08; VIII-02.09 в данные вегетационные периоды (на рисунке имеет номер 4) СКЯ принадлежит интервалу [35; 50];
- 3) II-22.06; III-04.07 в данные вегетационные периоды (на рисунке имеет номер 3) СКЯ принадлежит интервалу [55; 60];
- 4) V-19.07 в данный вегетационного периода (на рисунке имеет номер 2) СКЯ принадлежит интервалу [67; 70];
- 5) IV-14.07; в данный вегетационного периода (на рисунке имеет номер 1) СКЯ принадлежит интервалу [77; 80].

Основные результаты исследований НИР. Проверяем на II вегетационный период соответствия СКЯ (NDVI) шаблону.

Если не соответствия, то определяем причину (по влажности, по удобрениям, по сорным травам) и предлагаем план мероприятий по устранению недостатков.

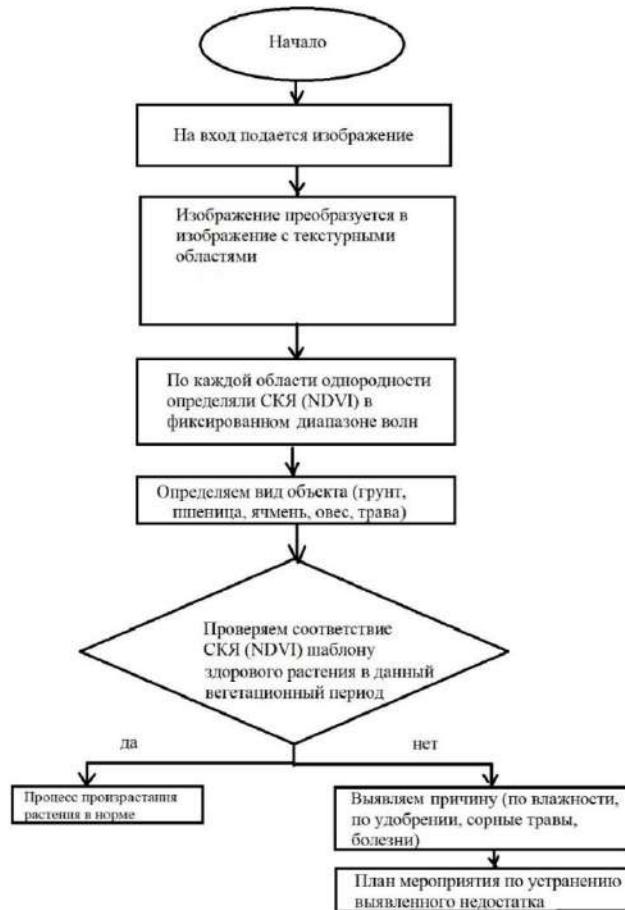


Рисунок 13. Блок – схема

Заключение. Полученные в данной работе зависимости позволяют создать информационную систему, которая по результатам ДЗЗ умеет:

1. Определять здоровый рост растений;
2. Выявлять различные нарушения в процессе роста сельхозкультур;
3. По итогам мониторинга растительности предложить план мероприятий по устранению нарушений согласно агрономической науке.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Книжникова Ю.Ф., Тутубалина О.В., Балдина Е.А., Чалова Е.Р. Компьютерная обработка аэрокосмических снимков. Работа с многозональными снимками в свободно распространяемой программе *MultiSpec* [электрон. ресурс]. – URL: http://www.geogr.msu.ru/science/aero/acenter/int_sem2/Theme3.htm.
- [2] Пугачева И.Ю., Сидько А.Ф., Шевырногов А.П. Анализ динамики спектральной отражательной способности посевов сельскохозяйственных культур в период вегетации на территории Красноярского края и Республики Хакасия по наземным и спутниковым измерениям// Исследование земли из космоса – 2008. – № 6. - С. 52-59.
- [3] Сидько А.Ф., Пугачева И.Ю., Шевырногов А.П. Исследование динамики спектральной яркости посевов сельскохозяйственных культур в период вегетации на территории Красноярского края// - Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 1 – 2009. – №2. – С. 100-111.
- [4] Алтынов А.Е., Малинников В.А., Попов С.М., Стеценко А.Ф. Спектрометрирование ландшафтов. -М.: МИИ- ГАиК. УПП «Репрография», 2010. -120 с.
- [5] О.В. Савицкая. Методы спутникового мониторинга оценки состояния и продуктивности посевов зерновых культур. ФГБУ «ВНИИСХМ». Обнинск, 2016. 184с.

- [6] Клещенко, А.Д. Оценка состояния зерновых культур с применением дистанционных методов / А.Д. Клещенко. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – С. 190
- [7] Байшоланов С.С., Полевой А.Н. Оценка влагообеспеченности вегетационного периода в северной зерносеющей территории Казахстана // – Физическая география и геоморфология: Научный сборник. К.: Киевский национальный университет им. Т. Шевченко. – 2016. – 3(83) – С. 95-102.
- [8] Байшоланов С.С., Муканов Е.Н., Чернов Д.А., Жакиева А.Р. Агроклиматические особенности вегетационного периода в Акмолинской области // Гидрометеорология и экология. Алматы: Казгидромет. – 2016. – № 2. – С. 27-37.
- [9] Терехин Е. А. Информативность спектральных индексов растительности для декодирования сельскохозяйственной растительности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012 Т. 9. № 4. С. 243-248.
- [10] Терехин Е. А. Метод картирования долгосрочных изменений в лесах на основе анализа их спектральных характеристик по серии спутниковых данных в разное время. Исследование Земли из космоса, 2013, № 5, с. 62-69.
- [11] Борисова М. В. Разработка методики автоматизированного декодирования космического изображения земной поверхности с использованием системы n-мерных спектральных признаков: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 25.00.34. Москва, 2010 – с. 185.
- [12] Кринов, Е. Л. Спектральная отражательная способность природных образований // Е. Л. Кринов; АН СССР, Лаб. аэрофотосъемки. - М.; Л.: Изд - во АН СССР, 1947. - 270, [2] с.-Библиография: с. 114-116.
- [13] Малинников В. А., Стеценко А. Ф., Алтынов А. Е., Попов С. М. Мониторинг природной среды аэрокосмическими средствами. Учебник для студентов вузов. - М.: Изд-во МИИГАиК, 2008, 145 с.

REFERENCES

- [1] Knizhnikova Yu.F., Tutubalina O.V., Baldina E.A., Chalova E.R. Komp'yuternaya obrabotka aerokosmicheskikh snimkov. Rabota s mnogozonal'nyimi snimkami v svobodno rasprostranyaemoi programme MultiSpec [elektron. resurs]. – URL: http://www.geogr.msu.ru/science/aero/acenter/int_sem2/Theme3.htm.
- [2] Pugacheva I.Yu., Sid'ko A.F., Shevyrnogov A.P. Analiz dinamiki spektral'noi otrazhatel'noi sposobnosti posevov sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v period vegetatsii na territorii Krasnoyarskogo kraya i Respubliki Khakasiya po nazemnym i sputnikovym izmereniyam// Issledovanie zemli iz kosmosa – 2008. – № 6. – S. 52-59.
- [3] Sid'ko A.F., Pugacheva I.Yu., Shevyrnogov A.P. Issledovanie dinamiki spektral'noi yarkosti posevov sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v period vegetatsii na territorii Krasnoyarskogo kraya// - Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 1 – 2009. – №2. – S. 100-111.
- [4] Altynov A.E., Malinnikov V.A., Popov S.M., Stetsenko A.F. Spektrometrirovaniye landshaftov. -M.: MII- GAiK. UPP «Reprografiya», 2010. -120 s.
- [5] O.V. Savitskaya. Metody sputnikovogo monitoringa otsenki sostoyaniya i produktivnosti posevov zernovykh kul'tur. FGBU «VNIISKhM». Ochninsk, 2016. 184s.
- [6] Kleshchenko, A.D. Otsenka sostoyaniya zernovykh kul'tur s primeneniem distantsionnykh metodov / A.D. Kleshchenko. – L.: Gidrometeoizdat, 1986. – S. 190.
- [7] Baisholanov S.S., Polevoi A.N. Otsenka vлагообесpeчennosti vegetatsionnogo perioda v severnoi zernoseyushchei territorii Kazakhstana // – Fizicheskaya geografiya i geomorfologiya: Nauchnyi sbornik. К.: Kievskii natsional'nyi universitet im. T. Shevchenko. – 2016. – 3(83) – S. 95-102.
- [8] Baisholanov S.S., Mukanov E.N., Chernov D.A., Zhakieva A.R. Agroklimaticheskie osobennosti vegetatsionnogo perioda v Akmolinskoi oblasti // Gidrometeorologiya i ekologiya. Almaty: Kazgidromet. – 2016. – № 2. – S. 27-37.
- [9] Terekhin E. A. Informativnost' spektral'nykh indeksov rastitel'nosti dlya dekodirovaniya sel'skokhozyaistvennoi rastitel'nosti // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2012 Т. 9. № 4. С. 243-248.
- [10] Terekhin E. A. Metod kartirovaniya dolgosrochnykh izmenenii v lesakh na osnove analiza ikh spektral'nykh kharakteristik po serii sputnikovykh dannykh v raznoe vremya. Issledovanie Zemli iz kosmosa, 2013, № 5, s. 62-69.
- [11] Borisova M. V. Razrabotka metodiki avtomatizirovannogo dekodirovaniya kosmicheskogo izobrazheniya zemnoi poverkhnosti s ispol'zovaniem sistemy n-mernykh spektral'nykh priznakov: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. 25.00.34. Moskva, 2010 – s. 185.

- [12] Krinov, E. L. Spektral'naya otrazhatel'naya sposobnost' prirodnykh obrazovanii // E. L. Krinov; AN SSSR, Lab. aerofotos"emki. - M.; L.: Izd - vo AN SSSR, 1947. - 270, [2] s.-Bibliografiya: s. 114-116.
- [13] Malinnikov V. A., Stetsenko A. F., Altynov A. E., Popov S. M. Monitoring prirodnoi sredy aerokosmicheskimi sredstvami. Uchebnik dlya studentov vuzov. - M.: Izd-vo MIIGAiK, 2008, 145 s.

A.E. Ержанова*

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

*e-mail: erjanova_akbota@mail.ru

ҒАРЫШТЫҚ ТҮСІРІЛМДЕРДІ ТАЛДАУ ҮШІН ВЕГЕТАЦИЯЛЫҚ КЕЗЕҢДЕР БОЙЫНША ӨСІМДІКТЕРДІҢ СПЕКТРЛІК ҚАСИЕТТЕРІ

Аннотация. Мақалада спекральды жарықтылық коэффициентін талдауға негізделген ғарыштық кескіндерді зерттеудің материалы мен әдістемесі көлтірілген.

Ашық баспасөзде жарияланған СЖК сандық мәндерін алу үшін эксперименттер барысында алынған мәліметтер негізінде топырақ пен өсімдіктердің шағылысұ процестерінің мінез-кулық заңдылықтары анықталды және қарастырылатын объектілердің түрін біржакты анықтауға болатын толқындардың көп спектрлі таралу диапазондарын кластерлеу ұсынылды. Өсімдіктердің СЖК таралуы вегетациялық кезендерде әр түрлі болғандықтан, олар үшін СЖК диапазондарының жоғарыда аталған кластерленуі ұсынылады. Жарықтық спектрлерінің таралуы өсімдік түрлерінің климаттық, географиялық есү жағдайларына байланысты және әр аймақ үшін ерекше екенін атап өткен жөн. Аталған зерттеу Ақмола облысымен байланысты, ол өзі төрт аймаққа бөлінеді.

Кластерлерге тиесілі СЖК деректері өсімдік түрлерінің қалыпты дамуын көрсетеді. Егер ауытқулар болса, яғни СЖК кластерге жатпайды, онда ауытқудың себебін анықтайтын алгоритм бар және кемшілікті жою бойынша іс-шаралар жоспарын ұсынады.

Негізгі сөздер: толқын ұзындығы, шағылысұ, жарықтылықтың спектрлік коэффициенті, вегетациялық кезен, өсімдіктер, ауылшаруашылық дақылдары, кластерлеу.

A.Ye.Yerzhanova*

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

*e-mail: erjanova_akbota@mail.ru

SPECTRAL PROPERTIES OF PLANTS BY VEGETATION PERIODS FOR ANALYSIS OF SATELLITE IMAGES

Abstract. The article presents the material and methods for studying space images based on the analysis of the spectral luminance coefficient (SLC).

Based on the data obtained during experiments to obtain numerical values of the SLC, which are published in the open press, patterns of behavior of soil and vegetation reflection processes are revealed, and clustering of multispectral wave distribution ranges is proposed, which can uniquely identify the type of objects under consideration. Since the distribution of plant SLC varies by vegetation period, the above-mentioned clustering of SLC ranges is also proposed for them. It should be noted that the distribution of luminance spectra depends on the climatic and geographical conditions of plant species and is unique for each region. This study is related to the Akmola region, which itself is divided into four zones.

The cluster based SLC data reflect the normal development of plant species. If there are deviations, i.e., the SLC does not belong to the cluster, then there is an algorithm that identifies the reason for the deviation and suggests an action plan to eliminate the defect.

Keywords: wavelength, reflectivity, spectral luminance coefficient, vegetation period, plants, agricultural crop, clustering.

¹К. Тұысхан*, ¹Г.Е. Ахметова, ²Г.А. Ульева, ³Д.С. Сапаров, ¹К.С. Толубаев

¹ Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

АО АрселорМиттал Темиртау, Темиртау, Казахстан

Томский политехнический университет, Томск, Россия

*e-mail: kura_tuyskhan@mail.ru

АПРОБАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРОВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Аннотация. Приведены результаты исследования влияния модифицирующих добавок из производственных отходов порошков микрокремнезёма и корунда (Al_2O_3) на структуру и фазовый состав алюминиевого сплава АД31. В условиях Карагандинского индустриального университета проведена плавка алюминиевого сплава АД31 с добавлением в качестве модификаторов по 1% отходов порошка кремниевого производства «Силициум Казахстан» (ныне «Tau-Ken Temir») (микрокремнезема марки МК-85) и порошка корунда (абразивного отхода от отрезных дисков). Выявлено положительное влияние модифицирующих добавок из производственных отходов на структуру и свойства сплава – изменяется зерно, изменяется фазовый состав и улучшаются свойства модифицированных алюминиевых сплавов. Для исследования образцов полученных модифицированных сплавов авторы использовали метод электронной микроскопии, как наиболее простой и быстрый способ передачи информации о микроструктуре, элементном составе и распределении элементов в объеме образца. Проведенные исследования актуальны с точки зрения утилизации отходов металлургических производств, расширения сырьевой базы, а также получения новых материалов с требуемым комплексом функциональных свойств.

Ключевые слова: алюминий, сплав, модификатор, микрокремнезём, корунд, структура, состав.

Введение. В последнее десятилетие наблюдается рост объема образования отходов производства и потребления, включая такую категорию как опасные отходы. По разным сведениям, объемы отходов увеличиваются от 3 до 7 млрд. тонн ежегодно [1].

Важной стороной вопроса является негативное влияние промышленных отходов на экологические факторы. Атмосфера катастрофически быстро загрязняется разнообразными выбросами промышленных предприятий. В нее выбрасываются газообразные и твердые продукты, образующиеся при сжигании топлива, протекании тех или иных технологических процессов [2].

В работе [3] рассматривается история применения микрокремнезема (микросилики). На территории постсоветского пространства применение микро- и наносилики не получило широкого распространения, в то время как за рубежом технология утилизации микрокремнезёма успешно применяется уже более 45 лет.

Важной проблемой является тот факт, что при переработке кремния значительное его количество переходит в брак или трудно утилизируемые отходы. Это также требует рассмотрения и научно-технологической проработки. Например, объемы выпуска и переработки высококонцентрированных кремнийсодержащих отходов достаточно высокой степени чистоты, образующихся при производстве солнечных модулей, таковы, что закономерным становится вопрос об их утилизации [4].

Ученые и практики многих стран занимаются вопросами разработки методов утилизации отходов, в том числе и отходов кремниевого производства. Авторы данной статьи в рамках проведенных исследований попытались опробовать отход кремниевого производства – микросилику в качестве модифицирующей добавки для алюминиевых сплавов, взамен дорогостоящих элементов.

Изделия из алюминиевых сплавов на основе систем Al_2O_3 нашли широкое применение в современной авиа- и аэрокосмической технике благодаря хорошему сочетанию механических, коррозионных и конструкционных свойств. В связи с этим, стабильное получение заготовок и изделий из этих сплавов с требуемым нормативной документацией комплексом свойств является одной из актуальных задач. В настоящее время для измельчения зерна в слитках алюминиевых сплавов применяют, в основном, прутковые модифицирующие лигатуры на основе систем Al_2O_3 зарубежного производства. Однако, как показывает практика, не всегда удается получить мелкозернистую и однородную структуру по всему объему заготовки при использовании лигатур. Причины кроются как в качестве самих лигатур, так и в технологии введения их в расплав. Сложившаяся ситуация свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования процесса модифицирования алюминиевых сплавов [5]. Одним из способов упрочнения алюминиевой матрицы является внесение методом механического легирования готовых частиц упрочняющей фазы, что, по сути, является процессом модифицирования.

В настоящее время необходимость применения процедуры модифицирования обусловлено рядом задач, которые оно решает: измельчение макро- и микрозерна (дendритных ячеек), фазовых составляющих эвтектик, перитектик, в том числе хрупких и легкоплавких фаз (с изменением их состава путем введения присадок, образующих с этими фазами химические соединения), первичных кристаллов, выпадающих при кристаллизации в сплавах, формы и изменение размера и распределения неметаллических включений.

Одновременное решение всех этих задач зачастую оказывается невозможным [6]. Так, измельчение макроструктуры часто сопровождается огрублением микрозерен, что приводит к изменению и получению в итоге иного комплекса механических свойств.

Традиционным способом управления механическими свойствами сплавов является регулирование их химического состава. По этой причине в настоящее время большое значение приобрела задача сокращения объемов потребления и рационального использования дорогих и дефицитных легирующих и модифицирующих элементов в черных и цветных сплавах без снижения их уровня технологических и функциональных механических свойств.

При добыче, получении и в процессе обработки отдельных химических элементов, материалов и продуктов, остается огромное множество некондиционных промышленных отходов, которые складируются, образуя горы отвалов, неблагоприятно влияющих на экологическую обстановку страны.

Известно, что производство кремния относится к числу экологоемких отраслей: технологические процессы связаны с выбросами в атмосферу газов, пыли, которая продолжает складироваться на шламохранилищах, нанося при этом урон окружающей среде. С целью минимизации экологических рисков, снижения экологической нагрузки близлежащего региона были проведены исследования влияния модифицирующих добавок на свойства алюминиевого сплава [7].

Наиболее эффективным путем решения этой проблемы является апробация применения и исследование влияния подобных «не годных» производственных отходов в качестве легирующих и модифицирующих элементов или добавок на механические и технологические свойства получаемой продукции [8]. В связи с чем, ученые многих стран разрабатывают научно-промышленные решения техногенного характера, новизна которых заключается в передовом использовании промышленных отходов различной природы с помощью современных технологий и оборудования. Путем легирования, микролегирования и модифицирования металлов и сплавов отходами промышленного производства создаются не только металлические сплавы, но и новые материалы специального назначения.

Описание проводимого исследования. Авторами работы была сделана попытка выявления влияния отходов кремниевого производства микрокремнезёма (микросиликатной пыли) и мелкодисперсного порошка корунда Al_2O_3 (наждачных отрезных дисков) на структуру и свойства алюминиевого сплава АД-31 при его модифицировании.

Алюминиевые сплавы достаточно широко используются в промышленности [9–13]. Выше указанный алюминиевый сплав был выбран в качестве объекта исследования, так как основной компонент сплава алюминий – характеризуется большой распространностью и по объемам производства занимает второе место после железа, используемого для производства чугуна и стали, и, соответственно, имеет невысокую стоимость. Также, алюминий и его сплавы характеризуется малым удельным весом, высокой тепло- и электропроводностью, которая составляет до 60% электропроводности меди [14]. Механические свойства чистого алюминия не высоки – он очень пластичен, его легко прокатывать, штамповать и прессовать. Однако, сами алюминиевые сплавы упрочняются путем термического воздействия и деформированием. Также отличительной особенностью алюминиевых сплавов является их высокая коррозионная стойкость. Все перечисленные факторы позволяют широко использовать алюминиевые сплавы в машиностроении (для сплавов подшипников, в качестве полупроводниковых материалов, применяемых в производстве атомной энергии и т.п.) [15-18].

В условиях Карагандинского индустриального университета была проведена плавка алюминиевого сплава АД31 (рисунок 1) в камерной электрической печи сопротивления в корундовых тиглях (при температуре $\sim 900^{\circ}\text{C}$) с добавлением 1% порошка:

- 1) корунда (Al_2O_3);
- 2) отхода кремниевого производства (микрокремнезема).



Рисунок 1. Микроструктура исходного алюминиевого сплава АД31, x100

Результаты исследования. Полученные в результате плавки образцы модифицированных алюминиевого сплава были подвергнуты пробоподготовке: шлифовке, полировке и травлению в реактиве для выявления структуры алюминиевых сплавов. Далее образцы были исследованы на оптическом микроскопе фирмы Leica (рисунок 2) и сканирующем электронном микроскопе (с э.д.с. анализатором) фирмы Zeiss (рисунок 3).

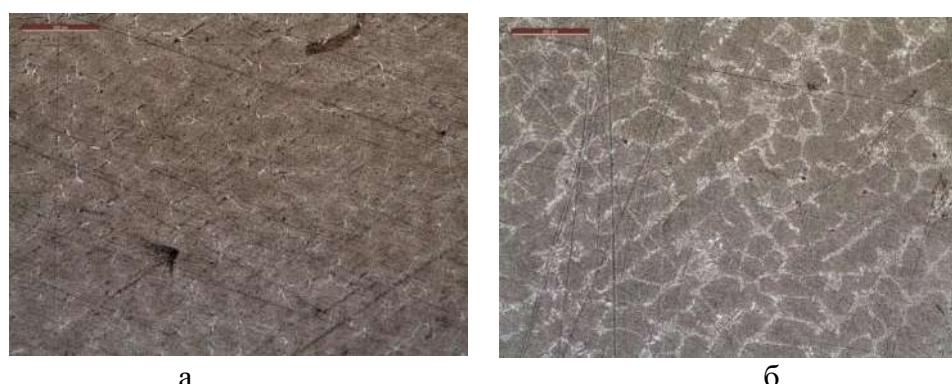


Рисунок 2. Изображение микроструктуры алюминиевого сплава АД31, модифицированного 1% (x100): а – микрокремнезёма; б – корунда Al_2O_3

Используемый для модификации первого образца алюминиевого сплава АД31 отход кремниевого производства «Силициум Казахстан», как показали результаты энергодисперсионного анализа, состоял из диоксида кремния, который, в свою очередь содержал незначительное количество примесей, и, в целом, представлял собой микрокремнезем марки МК-85. Модифицирующей добавкой второго образца алюминиевого сплава АД31 являлся отход отрезных дисков – корундовый порошок Al_2O_3 .

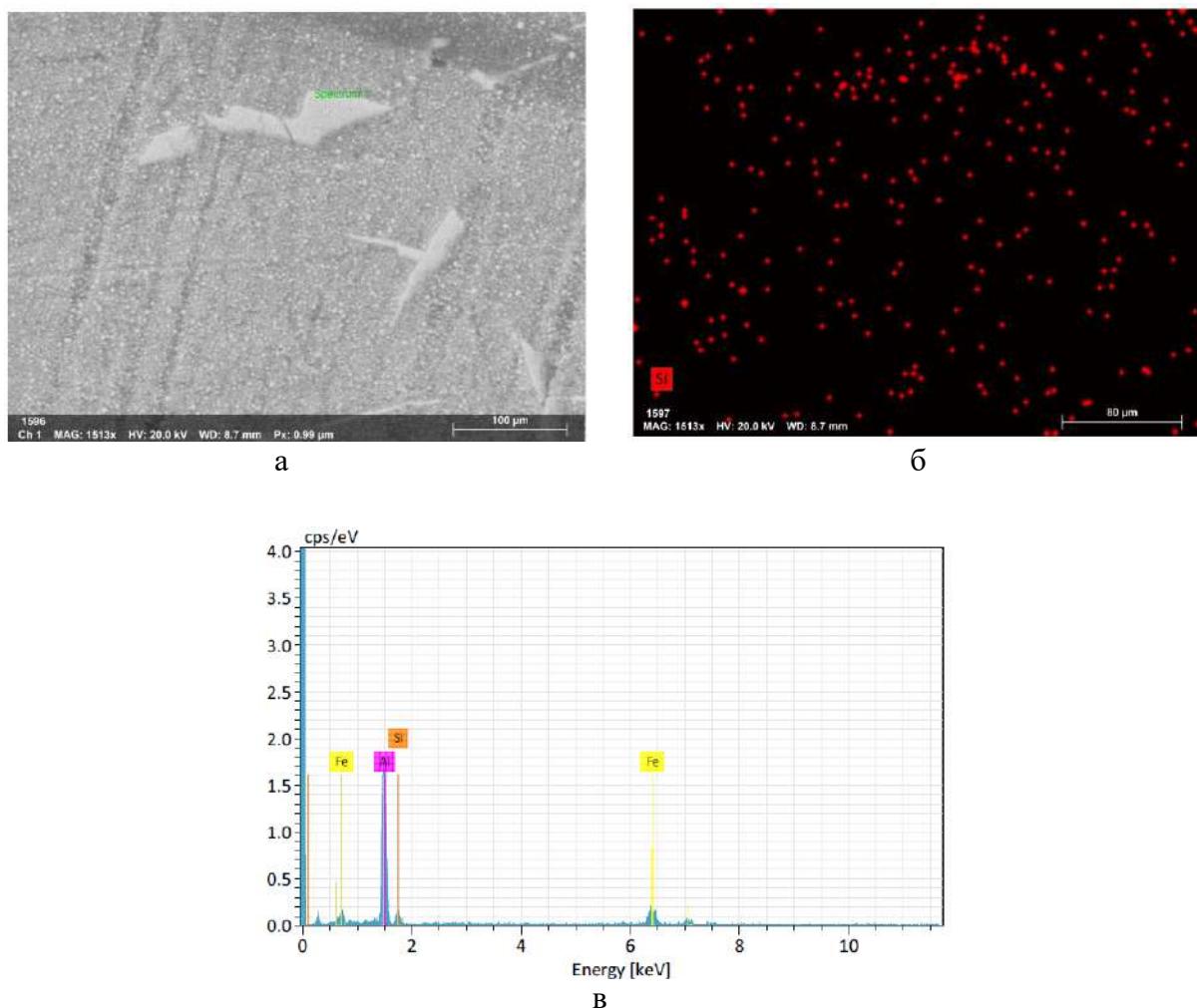


Рисунок 3. Образец алюминиевого сплава АД31, модифицированного микрокремнезёмом:
а – изображение микроструктуры, х1513; б – распределение Si на исследуемой поверхности, х1513;
в – энергодисперсионный анализ сплава

Как видно из фото микроструктур исходного образца алюминиевого сплава АД31 (рисунок 1) и образцов модифицированного алюминиевого сплава (рисунок 2) в результате модификации микроструктуры обоих образцов измельчаются (визуально) в 4-6 раз.

В результате модификации алюминиевого сплава микрокремнезёмом незначительно изменяется состав сплава – появляются примеси Fe и Si (таблица 1).

Таблица 1. Состав образца алюминиевого сплава в точке (Spectrum) 1

Элемент	Al	Si	Fe	Всего
Масс. %	$62,44 \pm 2,14$	$9,59 \pm 0,42$	$27,97 \pm 0,73$	100,00
Атом. %	$73,31 \pm 3,42$	$10,82 \pm 4,37$	$15,87 \pm 2,59$	100,00

На рисунке 4 приведено фото основы нового модифицированного сплава, спектр и числовые значения элементов. Как показывает фотография микроструктуры, алюминий имеет мелкодисперсные зерна округлой формы, причем размеры изменяются в небольших пределах значений линейных параметров.

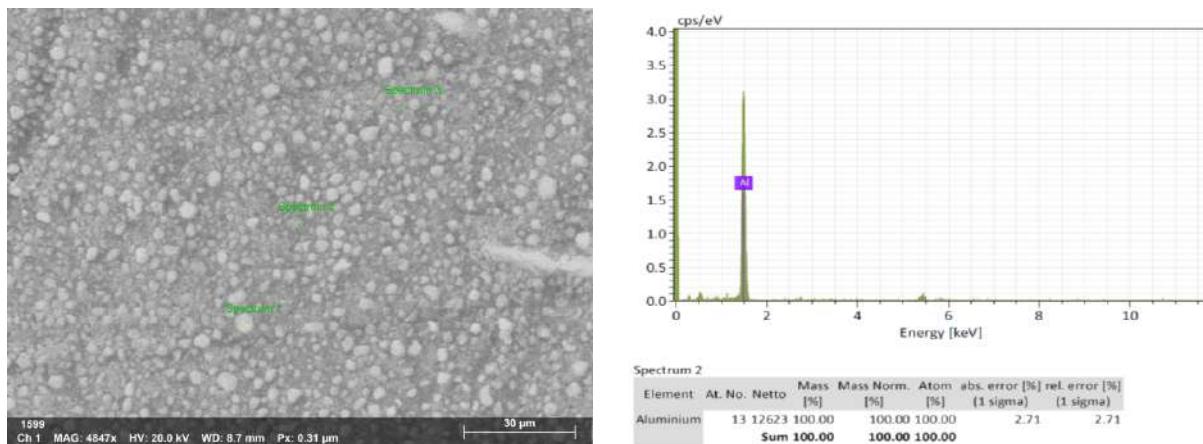
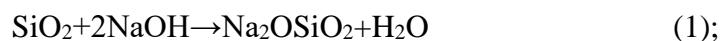


Рисунок 4. Микроструктура основы нового сплава, x4847 (спектры 1-3)

Как показал анализ алюминиевого сплава АД31, модифицированного микрокремнезёмом:

- 1) примеси железа в алюминиевом сплаве образуют соединения $FeAl_3$ (темно-фиолетовые выделения на фото микроструктур);
- 2) светлые структурные составляющие, имеющие характерный вид ломаных (трапециевидных) кривых линий (рисунок 3, а) – в присутствии кремния и железа образуются тройные фазы α ($Al-Fe-Si$) и β ($Al-Fe-Si$);
- 3) кремний в небольшом количестве образует с алюминием твердый раствор (рисунок 3, б), при этом, как показывают литературные источники, он растворяется в твердом алюминии лишь в ограниченно малом количестве [19];
- 4) при достаточном содержании примесей появляется скелетообразная эвтектика $Al+\alpha$ ($Al-Fe-Si$); на поверхности модифицированного сплава образуется защитная пленка, содержащая в своем составе Al_2O_3 и SiO_2 , и отличающаяся относительно хорошей стойкостью во многих агрессивных средах, особенно в окислительных. Как указывают авторы работы [20], окисную пленку указанного состава в силах разрушить только щелочи (1) и плавиковая кислота (2):



Алюминиевый сплав АД31, модифицированный корундовым порошком Al_2O_3 (рисунок 2, б), также изменил фазовый состав и структуру:

- 1) из-за введенных примесей Al_2O_3 образуется большое количество скелетообразной эвтектики $Al+\alpha$;
- 2) в незначительном количестве (в силу присутствия примесей в составе исходного сплава АД31) образуются фазы α и β – светлые структурные составляющие, имеющие характерный вид ломаных (трапециевидных) кривых линий.

Заключение. Таким образом, в результате модифицирования производственными отходами микрокремнезёма и корунда Al_2O_3 алюминиевые сплавы изменяют свою структуру и фазовый состав. Микроструктура измельчается, следовательно, согласно закону Холла-

Петча, улучшаются механические свойства (повышаются прочностные свойства), которые можно и дальше регулировать, применяя различные режимы термической обработки [21, 22].

При этом использование микрокремнезёма как модифицирующей добавки к металлическим сплавам приводит к созданию новых материалов со специальными свойствами и улучшенными эксплуатационными характеристиками и удовлетворяющих потребности наукоемких отраслей промышленности в современных материалах.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Совершенствование законодательства с целью повышения эффективности переработки и использования отходов производства и потребления [Электронный ресурс]. URL: <http://council.gov.ru/activity/activities/roundtables/29479/>
- [2] Проблема промышленных отходов [Электронный ресурс]. URL: <https://msd.com.ua/tehnologiya-teploizolyacii/problema-promyshlennuyx-otxodov/>
- [3] Мункхтушин Д., Балабанов В.Б., Пуценко К.Н. Опыт применения добавок микро- и наносилики из отходов кремниевого производства в бетонных технологиях // Известия вузов. Технические науки. Строительство, Том 7, №3, 2017. – с. 107-114.
- [4] Баранов К.В. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук по теме «Технология переработки отходов производств, использующих высокочистый кремний». – М.: ФГУП «ИРЕА», 2008. – 23 с.
- [5] Рожин А.В. Совершенствование процессов легирования и модифицирования алюминиевых сплавов на основе систем Al-Cu-Mg и Al-Zn-Mg-Cu // диссертация кандидата технических наук. - Екатеринбург, 2013. - 119 с.
- [6] Задирнов А.Н., Кац А.М. Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов. - Учебное пособие – М.: МГИУ, 2008. – 194 с.
- [7] Оспан Е.Е., Ульева Г.А., Ахметова Г.Е., Толубаев К.С. Мыстың құрылымы мен қасиеттеріне модификациялаушы қоспалардың әсерін зерттеу // Труды Сатпаевских чтений «Сатпаевские чтения – 2020», Том I / КазНИТУ имени Сатпаева. – Алматы, 2020. - С. 663-667.
- [8] Золоторевский В.С., Белов Н.А. Металловедение литьевых алюминиевых сплавов. – М.: МИСиС, 2005. – 376 с.
- [9] Богданова Т.А., Долженко Н.Н., Гильманшина Т.Р. и др. Перспективный метод быстрого контроля алюминиевых сплавов // Металлургия машиностроения. - 2014. - № 2. - С. 12–14.
- [10] Bazhin V.Yu., Sizakov V.M., Vlasov A.A. Surface defects in foil direct chill strip from highly-alloyed aluminum alloys // Metallurgist. – 2013. – vol. 6. - No. 11–12. – pp. 863-866.
- [11] Uskov I.V., Belyaev S.V., Uskov D.I., et al. Next-generation technologies of manufacturing of waveguides from aluminum alloys // ARPN J. of Engineering and Applied Sciences. – 2016. - vol. 11. - No. 21, - pp. 12367–12370.
- [12] Nikitin K.V., Nikitin V.I., Krivopalov D.S. et al. Influence of modifiers on the change of mechanical properties of silumins // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2017. – vol. 58 – No. 4, - pp. 378-382.
- [13] Mamina L.I., Gil'manshina T.R., Anikina V.I. et al. Influence of the activation time on parameters of a graphite structure // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2016. – vol. 57 – No. 1, - pp. 52-56.
- [14] Болховитинов Н.Ф. Металловедение и термическая обработка. - М.: Машиностроение, 1965. – 503 с.
- [15] Dwivedi D.K., Sharma R., Kumar A. Influence of silicon content and heat treatment parameters on mechanical properties of cast Al–Si–Mg alloys // International Journal of Cast Metals Research. – 2006. – No. 19. – pp. 275 —282.
- [16] Bandil K., Vashisth H., Kumar S., Verma L., Jamwal A., Kumar D., Singh N., Sadasivuni K.K., Gupta P. Microstructural, mechanical and corrosion behaviour of Al–Si alloy reinforced with SiC metal // Journal of Composite Materials. – 2019. - No. 1. - pp. 9.
- [17] Sawe B.E. *The Most Abundant Elements In the Earth's Crust* // World Atlas, 2018.
- [18] Hou J.P., Wang Q., Zhang Z.J., Tian Y.Z., Wu X.M., Yang H.J., Li X.W., Zhang Z.F. Nano-scale precipitates: The key to high strength and high conductivity in Al alloy wire // Materials & Design. – 2017. - No. 132. pp. 148-157.
- [19] Mondolfo L.F. Aluminum Alloys: Structure and Properties. London-Boston: Butter worths, 2018. – pp. 600.

- [20] Малахов А.И., Жуков А.П. Основы металловедения и теории коррозии. - М.: Высшая школа, 1978. – 186 с.
- [21] Гуреева М.А. Особенности модифицирования алюминиевых сплавов системы Al–Mg–Si. // Конструирование, расчеты, материалы. – 2015. - № 5 (313). – с. 46.
- [22] Троцан А.И., Каверинский В.В., Бродецкий И.Л., Воронич В.А. Модифицирование алюминиевого сплава дисперсным порошком Al_2O_3 // Вестник приазовского государственного технического университета. – 2013. – с.116.

REFERENCES

- [1] Sovershenstvovanie zakonodatel'stva s cel'ju povyshenija effektivnosti pererabotki i ispol'zovaniya othodov proizvodstva i potrebleniya [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://council.gov.ru/activity/activities/roundtables/29479/>
- [1] Problema promyshlennyh othodov [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://msd.com.ua/tekhnologiya-teploizolyacii/problema-promyshlennyx-otxodov/>
- [3] Munkhtuvshin D., Balabanov V.B., Pucenko K.N. Opty primenenija dobavok mikro- i nanosilik i othodov kremnievogo proizvodstva v betonnyh tehnologijah // Izvestija vuzov. Tehnicheskie nauki. Stroitel'stvo, Tom 7, №3, 2017. – p. 107-114.
- [4] Baranov K.V. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata himicheskikh nauk po teme «Tehnologija pererabotki othodov proizvodstv, ispol'zujushhih vysokochistoj kremnij». – М.: FGUP «IREA», 2008. – 23 p.
- [5] Rozhin A.V. Sovershenstvovanie processov legirovaniya i modificirovaniya aljuminievyh splavov na osnove sistem Al-Cu-Mg i Al-Zn-Mg-Cu // dissertacija kandidata tehnicheskikh nauk. - Ekaterinburg, 2013. - 119 p.
- [6] Zadiranov A.N., Kac A.M. Teoreticheskie osnovy kristallizacii metallov i splavov. - Uchebnoe posobie – М.: MGU, 2008. – 194 p.
- [7] Ospan E.E., Ulyeva G.A., Ahmetova G.E., Tolubaev K.S. Mustyn қurylymy men kasietterine modifikacijalaushy kospaldyn aserin zertteu // Trudy Satpaevskih chtenij «Satpaevskie chtenija – 2020», Tom I / KazNITU imeni Satpaeva. – Almaty, 2020. - P. 663-667.
- [8] Zolotorevskii V.S., Belov N.A. Metallovedenie liteinykh alyuminievykh splavov. – М.: MISiS, 2005. – 376 p.
- [9] Bogdanova T.A., Dolzhenko N.N., Gil'manshina T.R. and etc. Perspektivnyi metod bystrogoo kontrolya alyuminievykh splavov // Metallurgiya mashinostroeniya. - 2014. - № 2. - pp. 12–14.
- [10] Bazhin V.Yu., Sizakov V.M., Vlasov A.A. Surface defects in foil direct chill strip from highly-alloyed aluminum alloys // Metallurgist. – 2013. – vol. 6. - No. 11–12. – pp. 863-866.
- [11] Uskov I.V., Belyaev S.V., Uskov D.I., et al. Next-generation technologies of manufacturing of waveguides from aluminum alloys // ARPN J. of Engineering and Applied Sciences. – 2016. - vol. 11. - No. 21, - pp. 12367–12370.
- [12] Nikitin K.V., Nikitin V.I., Krivopalov D.S. et al. Influence of modifiers on the change of mechanical properties of silumins // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2017. – vol. 58 – No. 4, - pp. 378-382.
- [13] Mamina L.I., Gil'manshina T.R., Anikina V.I. et al. Influence of the activation time on parameters of a graphite structure // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2016. – vol. 57 – No. 1, - pp. 52-56.
- [14] Bolkhovitinov N.F. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka. - М.: Mashinostroenie, 1965. – 503 p.
- [15] Dwivedi D.K., Sharma R., Kumar A. Influence of silicon content and heat treatment parameters on mechanical properties of cast Al–Si–Mg alloys // International Journal of Cast Metals Research. – 2006. – No. 19. – pp. 275 —282.
- [16] Bandil K., Vashisth H., Kumar S., Verma L., Jamwal A., Kumar D., Singh N., Sadasivuni K.K., Gupta P. Microstructural, mechanical and corrosion behaviour of Al–Si alloy reinforced with SiC metal // Journal of Composite Materials. – 2019. - No. 1. - pp. 9.
- [17] Sawe B.E. *The Most Abundant Elements In the Earth's Crust* // World Atlas, 2018.
- [18] Hou J.P., Wang Q., Zhang Z.J., Tian Y.Z., Wu X.M., Yang H.J., Li X.W., Zhang Z.F. Nano-scale precipitates: The key to high strength and high conductivity in Al alloy wire // Materials & Design. – 2017. - No. 132. pp. 148-157.
- [19] Mondolfo L.F. Aluminum Alloys: Structure and Properties. London-Boston: Butter worths, 2018. – pp. 600.

- [20] Malakhov A.I., Zhukov A.P. Osnovy metallovedeniya i teorii korrozii. - M.: Vysshaya shkola, 1978. – 186 p.
- [21] Gureeva M.A. Osobennosti modifitsirovaniya alyuminievykh splavov sistemy Al–Mg–Si. // Konstruirovaniye, raschety, materialy. – 2015. – № 5 (313). – p. 46.
- [22] Trotsan A.I., Kaverinskii V.V., Brodetskii I.L., Voronich V.A. Modifitsirovaniye alyuminievogo splava dispersnym poroshkom Al_2O_3 // Visnik priazovskogo derzhavnogo tekhnichnogo universitet. – 2013. – p.116.

1К. Тұысқан*, 1Г.Е. Ахметова, 2Г.А. Ульева, 3Д.С. Сапаров, 1К.С. Толубаев

¹ Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан

² ArcelorMittal Temirtau АҚ, Теміртау, Қазақстан

³ Томск политехникалық университеті, Томск, Ресей

*e-mail: kura_tuyskhan@mail.ru

ӨНДІРІСТІК ҚАЛДЫҚТАРДЫ АЛЮМИНИЙ ҚОРЫТПАЛАРЫНЫҢ МОДИФИКАТОРЛАРЫ РЕТИНДЕ ҚОЛДАНУДЫ АПРОБАЦИЯЛАУ

Андратпа. Микрокремнезем және корунд ұнтағының (Al_2O_3) өндірістік қалдықтарынан модификациялаушы қоспалардың АД31 алюминий қорытпасының құрылымы мен фазалық құрамына әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Қарағанды индустриялық университетті жағдайында «Силициум Қазақстан» (қазіргі «Tau-Ken Temir») кремний өндірісінің (МК-85 маркалы микрокремнезем) және корунд ұнтағының (кесу дискилерінен абразивті қалдықтар) 1% қалдықтарын модификаторлар ретінде қосу арқылы АД31 алюминий қорытпасын балқыту жүргізілді. Өндірістік қалдықтардан модификациялаушы қоспалардың қорытпаның құрылымы мен қасиеттеріне оң әсері анықталды – түйіршіктер ұсақталады, фазалық құрамы өзгереді және модификацияланған алюминий қорытпаларының қасиеттері жақсарады. Модификацияланған қорытпалардың үлгілерін зерттеу үшін авторлар электронды микроскопия әдісін микроқұрылым, элемент құрамы және үлгі көлемінде элементтердің таралуы туралы ақпаратты берудің ен қарапайым және жылдам әдісі ретінде қолданды. Жүргізілген зерттеулер металлургия өндірісінің қалдықтарын көдеге жарату, шикізат базасын кеңейту, сондай-ақ қажетті функционалды қасиеттері бар жаңа материалдар алу тұргысынан өзекті.

Негізгі сөздер: алюминий, қорытпа, модификатор, микрокремнезем, корунд, құрылымы, құрамы.

1K. Tuyskhan*, 1G.E. Akhmetova, 2G.A. Ulyeva, 3D.S. Saparov, 1K.S. Tolubaev

¹ Karaganda industrial university, Temirtau, Kazakhstan

² ArcelorMittal Temirtau JSC, Temirtau, Kazakhstan

³ Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

*e-mail: kura_tuyskhan@mail.ru

APPROVAL OF PRODUCTION WASTE APPLICATION AS MODIFIERS OF ALUMINUM ALLOYS

Abstract. The results of a study of the effect of modifying additives from production waste of microsilica and corundum (Al_2O_3) powders on the structure and phase composition of the AD31 aluminum alloy are presented. In the conditions of the Karaganda Industrial University, melting of the AD31 aluminum alloy was carried out with the addition of 1% of waste powder of silicon production «Silicium Kazakhstan» (now «Tau-Ken Temir») (microsilica grade MK-85) and corundum powder (abrasive waste from cutting discs) as modifiers. The positive effect of modifying additives from industrial waste on the structure and properties of the alloy is revealed - the grain is refined, the phase composition changes, and the properties of modified aluminum alloys improve. To study the samples of the obtained modified alloys, the authors used the method of electron microscopy, as the simplest and fastest way to transfer information about the microstructure, elemental composition and distribution of elements in the sample volume. The conducted studies are relevant from the point of view of recycling waste from metallurgical industries, expanding the raw material base, as well as obtaining new materials with the required complex of functional properties.

Keywords: aluminum, alloy, modifier, microsilica, corundum, structure, composition.

^{1,2}**Н.К. Смайлұс*, ^{1,2}С.Ж. Қошқінбаев, ¹А.М. Базарбай, ^{1,2}А.А. Абдықадыров,**
²**А.О. Кабдолдина, ³М.Ж. Кошқінбаева**

¹Satbayev University, Алматы, Казахстан

² Институт механики и машиноведения имени академика У.А. Жолдасбекова,
Алматы, Казахстан

³Университет Мирас, город Шымкент, Казахстан

*e-mail: nur_aly.kz@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИЛОВЫХ И ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ СОВМЕЩЕННЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ

Аннотация. В данной статье рассмотрены методы преобразования силовых и тепловых параметров для совмещенных датчиков давления и температуры. В работе показана зависимость скорости от изменения давления, т.е. характера зависимости $p(t)$. Предлагается показать разнообразие задач измерения давлений которые сводятся к трем вариантам: измерение статических и медленнomenяющихся давлений, измерение быстроменяющихся давлений и измерение импульсных давлений.

Показаны наиболее жесткие метрологические требования к датчикам и системам, измеряющим статические и медленнomenяющиеся процессы. Техническая задача - усовершенствовать измерительный прибор. Техническим результатом является повышение точности измерения давления с учетом дополнительной погрешности температуры. Это включает в себя известные устройства, такие как разделители света, микролинзы, микропозиционист, коллимирующая линза, одномодовое рабочее волокно с алюминиевым покрытием для измерения температуры, шарнир для сбора линз, фотоприемник, усилитель сигнала, блок обработки и цепь тепловой компенсации.

Ключевые слова: совмешенный датчик, дифференциальное давление, усилитель мощности сигнала, чувствительный элемент, методы преобразования, давления.

Введение. Имеется только три типа датчиков давления (ДД) для измерения абсолютного, избыточного и дифференциального давления. Датчики абсолютного давления измеряют нулевое давление (уровень абсолютного вакуума). Датчики перепада давления измеряют разницу давлений между двумя входами. Датчики избыточного давления представляют собой частный случай датчиков перепада давления и измеряют давление относительно атмосферного. Последние широко используются в жилищно-коммунальном хозяйстве.

Конструктивно ДД представляет собой чувствительный элемент (ЧЭ), расположенный между двумя камерами - в одной измеряется давление, в другой - эталон. В датчиках абсолютного давления эффект ЧЕ бывает только с одной стороны, дифференциальный - с двух сторон, относительное, с одной стороны, измеряемое давление, а с другой стороны, постоянное.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Одним из мировых лидеров по производству полупроводниковых датчиков давления является компания NXP, которая по состоянию на 2016 год занимает четвертое место в мире по производству полупроводниковых изделий. Эта компания производит различные ДДС от 0 до 10 000 кПа. Рассмотрим схему датчиков MPX2100 фирмы NXP. Этот датчик имеет 7 модификаций различных конструкций, что позволяет использовать его для измерения всех трех типов давления.

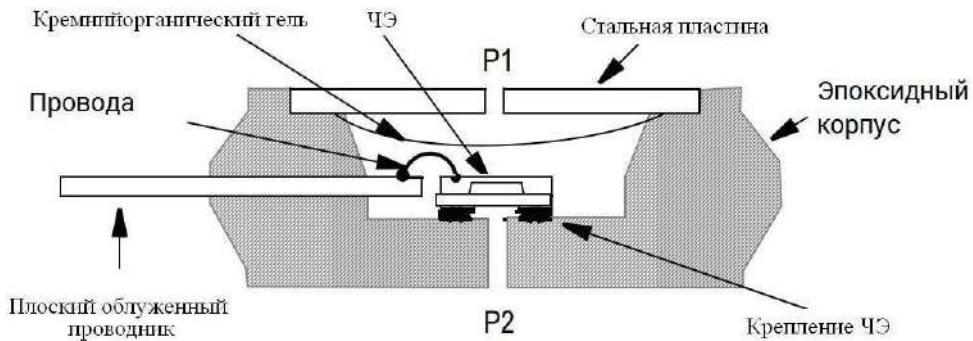


Рисунок 1.1. Датчик абсолютного давления фирмы NXP

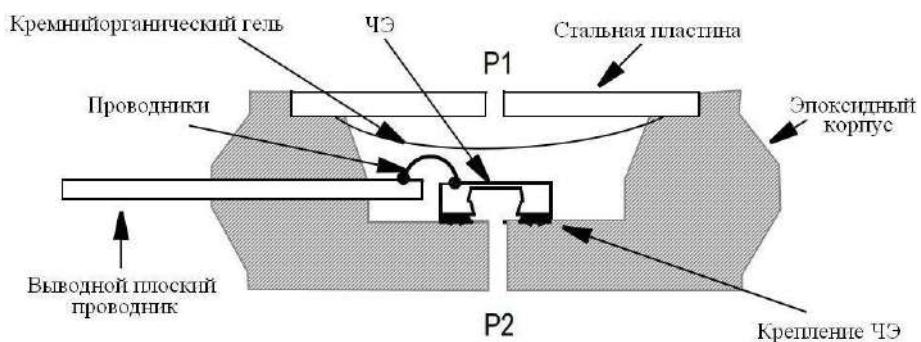


Рисунок 1.2. Датчик избыточного (дифференциального) давления

Датчики абсолютного, избыточного и дифференциального давления показаны на рисунках 1.1, 1.2. Как видно из них, основное отличие датчиков заключается в различии конструкций ЧЭ. Датчик манометра, который также может измерять перепад (перепад) давления, сконструирован таким образом, что давление P1 всегда будет выше давления P2, в датчике абсолютного давления к P1 подается разрежение. Силиконовый гель изолирует SE и подводящие провода от окружающей среды, не влияя на измеряемое давление, действующее на SE. В то же время производитель указывает, что датчик предназначен для воздействия сухого воздуха, воздействие других газов или окружающей среды может привести к неработоспособности или сокращению срока службы.

В датчике MPX2100 используется пьезорезистивный принцип работы, при котором сопротивление тензодатчиков изменяется под давлением. Недостаток метода - отрицательное влияние температуры; для его устранения используются схемы термокомпенсации, в том числе с использованием микроконтроллера.

Следует отметить, что в зависимости от скорости изменения давления, т.е. характера зависимости $p(t)$, все многообразие задач измерения давления можно свести к трем вариантам: измерение статического и медленно меняющегося давления, измерение быстро меняющегося давления, давление и измерение импульсных давлений (рисунок 1.3).

На практике статической группой обычно называют давления, значение которых остается неизменным в процессе измерения. Медленно меняющееся давление - это процесс, который содержит постоянную составляющую и гармонические составляющие с частотами до 20 ... 30 Гц.

Характер изменения медленно меняющихся давлений во времени различен: $p(t)$ может быть сложной функцией, постоянная составляющая, которой аппроксимируется, например, трапецидальным импульсом с разным временем нарастания и спада (рис. 1.3, а).

На рисунке 1.3 для графической интерпретации характера и динамики давления приняты следующие обозначения:

- а - медленно меняется;
- б - медленно меняющийся, сопровождающийся пульсацией;
- в - быстро меняющийся с постоянной составляющей;
- г - быстро меняющийся без постоянной составляющей;
- д - пульс;
- ж - перкуссия;
- ж - взрывчатое вещество.

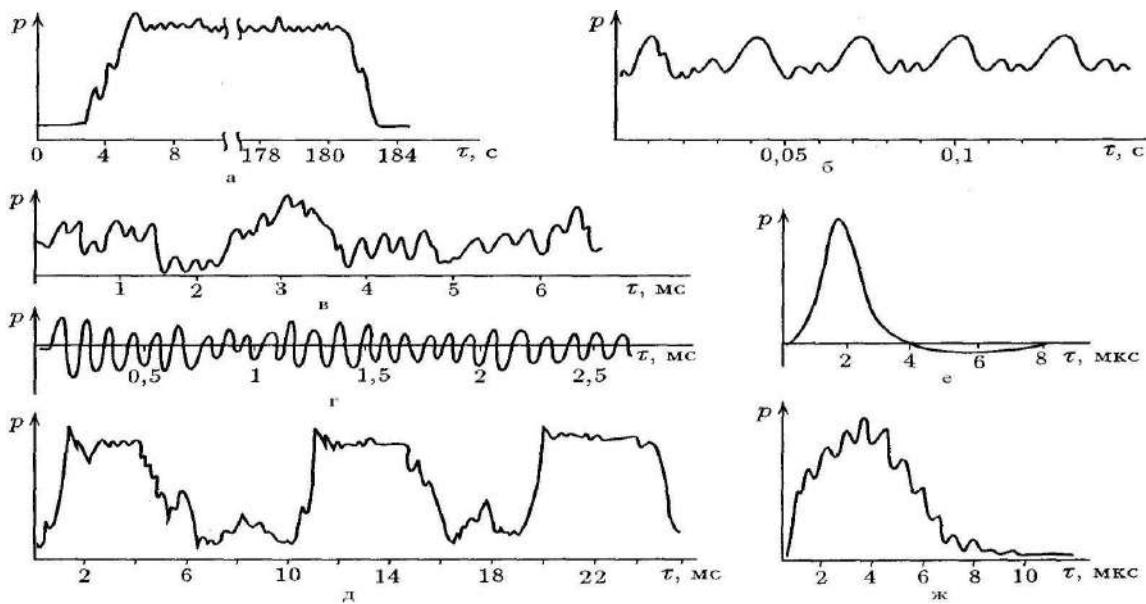


Рисунок 1.3. Характер изменения давления во времени для различных типов давлений

Быстро меняющиеся давления (рисунок 1.3, б) включают в себя периодически меняющиеся и переходные процессы. Пульсации давления жидкости и газа и акустический шум представляют собой скорее случайный колебательный процесс (рисунки 1.3, б, г).

Импульсные давления представляют собой одиночные или периодические импульсы и характеризуются амплитудой импульсов и коротким временем нарастания и спада. Чаще всего эти процессы не имеют постоянной составляющей (рисунки 1.3, д - ж).

К датчикам и системам, измеряющим статические и медленные процессы, предъявляются самые строгие метрологические требования. Это связано с тем, что датчики допускают погрешности для одновременного измерения переходных процессов и установившихся давлений, сопровождаемых пульсацией. Требуются частота собственных колебаний и небольшая степень демпфирования, а для небольшой погрешности измерения установившегося давления, соответствующего высокочастотной пульсации, необходимая низкая частота собственных колебаний и измерений. Большая степень седативного эффекта. Датчики, предназначенные для измерения быстро изменяющегося и пульсирующего давления, должны иметь небольшие динамические ошибки, то есть высокие частоты диапазона давления и дестабилизирующие факторы. В этом случае для допустимых динамических погрешностей системы все элементы системы (датчик - усилитель - преобразователь - регистратор) должны быть согласованы по частотным диапазонам измерений.

Тензодатчик (СД) - один из ключевых элементов датчиков давления и силы. Кроме того, тензодатчики используются для различных целей: измерения уровня деформаций и

механических напряжений, изображений в узлах и конструкциях технологического оборудования, вооружения, изделий летной и ракетно-космической техники. Процессы со случайными и гармоническими составляющими частот от десятков до сотен тысяч герц до быстро меняющихся импульсных давлений.

Обобщенная структура представлена на рисунке 1.4, где условно имеется входная сила деформации ε_x , которая действует на опорный элемент (подложку, пластину, балку), вызывает в нем механическое напряжение (σ_x), которое передается на чувствительный элемент (ЧЭ). С другой стороны, поток энергии (E) поступает в SE от внешнего источника питания (PS) в виде напряжения, тока или частоты, который модулируется переменными модулями SE, которые, в свою очередь, зависят от ε_x . Кроме того, в реальных условиях на светодиод влияют параметры внешней среды, в частности температура ($T_{вн}$), вибрации, удары и т. д., которые меняют его характеристики. Таким образом, на выходе СД возникает сигнал Y , функционально связанный с ε_x , Θ , $T_{вн}$:

$$Y = F(\varepsilon_x, \Theta, T_{вн})$$

Чаще всего роль ЧЭ выполняют тензорезисторы (ТР), которые закрепляются на подложке или объекте измерения специальными клеями или kleевыми композициями.

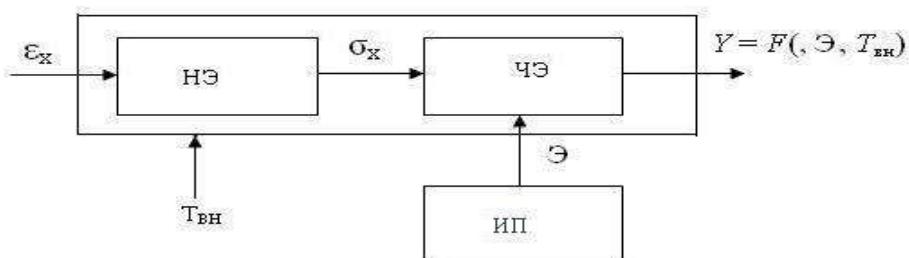


Рисунок 1.4. Структурная схема сенсора деформации

Рассмотрим подробнее ТР, являющиеся основными элементами СД. В настоящее время на практике используются проволочные, фольговые и полупроводниковые ТР, особенно первый и второй. Кратко опишем принцип работы ТР и приведем основные расчетные зависимости. Wirewound TR - это проволока из высокопрочного металлического сплава, которая меняет свое сопротивление при нагрузке, растяжении или сжатии.

Данная работа выполнена при поддержке грантового финансирования по теме «Разработка конструкций и технологий создания малогабаритных оптоволоконных совмещенных датчиков давления и температуры для космической инфраструктуры», ИРН - АР08052850, источник финансирования – Министерство образования и науки Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Klyuev I.V. Novie tehnologii i pribori dlya izmereniya davleniya i temperaturi jidkikh i gazovih sred // «ISUP». – Ryazan: OAO «Teplopribor», 2012. -№ 4 (40), – S. 32-33.
- [2] Pat. 2002/0059827 A1 US, G01F 1/68. Combined flow, pressure and temperature sensor / Leif Smith. - № 10/022361, zayavl. 20.12.2001; opubl. 23.05.2002.
- [3] Encyclopedia ASU TP. <https://www.bookasutp.ru>. 05.06.2016.
- [4] Matrica cifrovih sensorov - elektronnaya sistema skanirovaniya parametrov davleniya sleduyuscheogo pokoleniya // Kontrolno-izmeritelnaya tekhnika. – M.: Energoatomizdat, 2017. - S. 13-14.
- [5] Pnevmpreobrazovatel mnogokanalnii PPM. Rukovodstvo po ekspluatacii. KRUG. 421831.001RE. – Penza: KRUG, 2002. - 45 s.
- [6] Datchiki teplofizicheskikh i mehanicheskikh parametrov. Spravochnik: v 3 t. / pod obsch. red. Yu. N. Kopteva. - M.: IPRJ, 2008. - T. 1. – 458 s.
- [7] Djekson R.G. Noveishie datchiki. Spravochnik / per. s angl. - M.: Tehnosfera, 2007. - 380 s.
- [8] Fraiden Dj. Sovremennie datchiki. Spravochnik / per. s angl. - M.: Tehnosfera, 2005. - 592 s.
- [9] Busurin V.I., Nosov Yu.R. Volokonno-opticheskie datchiki. Fizicheskie osnovi, voprosi rascheta i primeneniya. – M.: Energoatomizdat, 2001. – 256 s.
- [10] Garmash V.B., Egorov F.A., Kolomiec L.N., Neugodnikov A.P., Pospelov V.I. Vozmojnosti, zadachi i perspektivi volokonno-opticheskikh izmeritelnih sistem v sovremenном priborostroenii // Specvipusk «Foton-Ekspress» - Nauka. – M.: FE, 2005. - №6. – S. 128-140.
- [11] Gulyaev Yu.V., Nikitov S.A, Potapov V.T., Chamorovskii Yu.K. Volokonno-opticheskie tehnologii, ustroistva, datchiki i sistemi // Specvipusk «Foton-Ekspress» - Nauka. - M.: FE, 2005. - №6. - S. 114 – 127.
- [12] Gromov V.S. Mnogofunktionalnii datchik dlya elektronnih sistem sbara dannih // Elektronika: Nauka, tekhnologiya, biznes. - 2006. - №5. S. 96-101.
- [13] Pat. 2091578 Rossiiskaya Federaciya, MPK8 G01K7/16. Sposob izmereniya davleniya i temperaturi odnim datchikom i ustroistvo dlya ego osuschestvleniya / Kolovertnov Yu. D., Kolovertnov G. Yu. i dr.; zayavatel Ufimskii Gosudarstvennii neftyanoi tekhnicheskii universitet. – № 1995 128278/14; zayavl. 04.10.95; opubl. 27.09.97, Byul. № 5.
- [14] Pat. 2145064 Rossiiskaya Federaciya, MPK8 G01L9/12_ G01K7/34. Datchik davleniya i temperaturi i sposob ego izgotovleniya / Kazaryan A.A.; zayavitel Centralnii aerogidrodinamicheskii institut im. prof. N.E. Jukovskogo. - № 98115608/28, zayavl. 13.08.1998; opubl. 27.01.2000, Byul. № 7.
- [15] Pat. 7421905 V2 US, G01L 1/24. Optical sensor with co-located pressure and temperature sensors / Paul S. Zerwekh, Daniel C. Blevins, Clark D. Boyd, Brooks Childers. - № 10/570049, zayavl. 17.03.2005; opubl. 28.02.2006.

Н.К. Смайллов, С.Ж. Қошқінбаев, А.М. Базарбай, А.А. Абдықадыров,

А.О. Кабдолдина, М.Ж. Кошқинбаева

Satbayev University, Алматы, Казахстан

Институт механики и машиноведения имени академика У.А. Жолдасбекова,

Алматы, Казахстан

³Университет Мирас, город Шымкент, Казахстан

*e-mail: nur_aly.kz@mail.ru

БІРІКТІРІЛГЕН ҚЫСЫМ ЖӘНЕ ТЕМПЕРАТУРА ДАТЧИКТЕРІ ҮШІН КУШ ЖӘНЕ ЖЫЛУ ПАРАМЕТРЛЕРІН ТҮРЛЕНДІРУ ӘДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Андатпа. Бұл мақалада біріктірілген қысым мен температура сенсорлары үшін қуат пен жылу параметрлерін түрлендіру әдістері қарастырылған. Жұмыста жылдамдықтың қысымның өзгеруіне тәуелділігі көрсетілген, яғни тәуелділіктің сипаты $p(t)$, үш нұсқаға азайтылған қысымды өлшеу міндеттерінің әртүрлілігін көрсету ұснылады: статикалық және баяу өзгеретін қысымды өлшеу, жылдам өзгеретін қысымды өлшеу және импульстік қысымды өлшеу.

Статикалық және баяу өзгеретін процестерді өлшайтін датчиктер мен жүйелерге қойылатын ең қатаң метрологиялық талаптар көрсетілген. Техникалық міндет - өлшеу құралын жетілдіру. Техникалық нәтиже -қосымша температура қатесін ескере отырып, қысымды өлшеу дәлдігін

арттыру. Бұған жарық бөлгіштер, микролинзалар, микропозиционист, коллимациялаушы линза, температураны өлшеуге арналған алюминийден жасалған бір режимді жұмыс талшығы, линзаларды жинауға арналған топса, фотодетектор, сигнал күшеткіші, өндөу блогы және жылу компенсациясы тізбегі сияқты танымал құрылғылар кіреді.

Негізгі сөздер: біріктірілген датчик, дифференциалды қысым, сигнал күшеткіші, сезімтал әлемент, түрлендіру әдістері, қысым.

N.K. Smailov*, S.Zh. Koshkinbayev, A.M. Bazarbay, A.A. Abdykadyrov,

A.O. Kabboldina, M. Zh. Koshkinbaeva

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

U.A.Dzholdasbekov Institute of Mechanics and mechanical Engineering Republic of Kazakhstan

Miras University, Shymkent, Kazakhstan

*e-mail: nur_aly.kz@mail.ru

INVESTIGATION OF METHODS FOR CONVERTING POWER AND THERMAL PARAMETERS FOR COMBINED PRESSURE AND TEMPERATURE SENSORS

Abstract. This article discusses methods for converting power and thermal parameters for combined pressure and temperature sensors. The paper shows the dependence of the velocity on the pressure change, i.e. the nature of the $p(t)$ dependence. It is Proposed to show a variety of pressure measurement problems that are reduced to three options: measurement of static and slow-changing pressures, measurement of fast-changing pressures, and measurement of pulse pressures.

The most stringent metrological requirements for sensors and systems that measure static and slow-changing processes are shown. The technical task is to improve the measuring device. The technical result is an increase in the accuracy of the pressure measurement, taking into account the additional temperature error. This includes well-known devices such as light separators, microlenses, a micropositioner, a collimating lens, a single-mode working fiber with an aluminum coating for temperature measurement, a hinge for collecting lenses, a photodetector, a signal amplifier, a processing unit, and a thermal compensation circuit.

Keywords: combined sensor, differential pressure, signal power amplifier, sensitive element, conversion methods, pressure.

Е.Н. Сейткулов*, Р.М. Оспанов, Б.Б.Ергалиева

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

*e-mail: yerzhan.seitkulov@gmail.com

ПРИМЕР КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ХЕШ-ФУНКЦИИ, ПОСТРОЕННОЙ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СХЕМЫ SPONGE

Аннотация. В настоящее время схема «Sponge» является наиболее удачным и перспективным способом построения современных криптографических хэш-функций. Целью данной статьи является построение примера криптографической хеш-функции, основанной на этой схеме. Основным и важным компонентом схемы является внутренняя функция, являющейся преобразованием фиксированной длины или перестановкой, оперирующей с фиксированным числом битов, составляющих внутреннее состояние функции. Классическая схема «Sponge» и большинство ее модификаций предполагают в своем составе только одну внутреннюю функцию. В данной работе рассматривается модификация этой схемы, которая предполагает использование уже множества внутренних функций. Рассматриваются три новых варианта внутренней функции. Во-первых, рассматривается вариант внутренней функции, основанный на использовании словарных регистров сдвига с обратной связью по переносу кольцевой конфигурации. Во-вторых, рассматривается новый вариант внутренней функции, основанный на перестановке Кессак. В-третьих, рассматривается внутренняя функция, построенная с помощью обобщенной методологии проектирования AES. Далее на основе модифицированной схемы и используя эти три внутренние функции строится алгоритм хеширования. Выбор одной из этих трех внутренних функций в составе всей схемы определяется с помощью зависящих от сообщения битов выбора, сгенерированных псевдослучайным образом.

Ключевые слова: информационная безопасность, криптография, хеш-функция, схема «Sponge», внутренняя функция.

Введение. Проверка стойкости разрабатываемых криптографических хеш-функций ко всем существующим на текущий момент времени методам криptoанализа позволяет быть уверенными в их безопасности и их безопасном использовании, а также в их стандартизации. Однако по мере дальнейших исследований и усовершенствования криptoаналитических методов обнаруживаются слабые места в уже известных и широко используемых хеш-функциях, которые могут привести к частичному или полному нарушению их безопасности.

Например, в 2008 году в работах [1], [2] были представлены успешные теоретические криptoаналитические атаки на криптографическую хеш-функцию, определенную в российском стандарте ГОСТ Р 34.11-94 «Информационная технология. Криптографическая защита информации. Функция хэширования». В 2005 году в работах [3], [4] была представлена теоретическая атака на криптографическую хеш-функцию SHA-1, определенную в стандарте FIPS PUB 180-1 Secure Hash Standard. Затем еще был опубликован целый ряд работ по теоретическому криptoанализу SHA-1. А в 2015 году в работе [5] была представлена первая практическая атака на внутреннюю функцию сжатия SHA-1. В 2017 году была осуществлена практическая атака на SHA-1 [6], в результате которой были получены два разных PDF-файла с одним и тем же хеш-значением SHA-1. Позже в еще ряде работ [7], [8], [9] были опубликованы новые практические атаки на SHA-1.

Еще одна проблема, которая может поколебать уверенность в безопасном использовании уже разработанных криптографических хеш-функций (и даже стандартизованных), заключается в том, что проверка на стойкость к криptoанализу может не обнаружить бэкдоры, которые возможно, были встроены в хеш-функции как на этапе их программной и/или аппаратной реализации, так и на этапе математического проектирования. Сами бэкдоры могут быть сконструированы с помощью сложных криптографических методов, которые затрудняют их обнаружение. Знание бэкдора позволяет осуществлять эффективную

практическую атаку на хеш-функцию.

Например, в работе [10] представлена версия SHA-1, содержащая бэкдор, с помощью которой можно успешно находить коллизии с приблизительной сложностью в 248 вычислений. Для сравнения, считается, что вычислительная сложность нахождения коллизии для стандартного алгоритма SHA-1 составляет более 263 вычислений. В работе [11] представлена версия с бэкдором алгоритма BLAKE (финалиста конкурса SHA-3), для которой также можно успешно находить коллизии. Также варианты с бэкдорами были исследованы для известных криптографических хеш-функций Стрибог (российский стандарт алгоритма хеширования) и Кессак (победитель конкурса SHA-3) в работах [12], [13] соответственно. Известный случай [14] существования возможного бэкдора в стандартизированном криптографическом алгоритме генерации псевдослучайных чисел Dual_EC_DRBG [15], или недавнее исследование S-блока [16], используемого в Стрибог (и Кузнецик (российский стандарт алгоритма блочного шифрования) [17]), вызывают подозрения, что и для существующих стандартизованных криптографических хеш-функций нельзя исключать возможность наличия бэкдоров.

В настоящее время в Казахстане в качестве стандартов криптографической хеш-функции используются иностранные алгоритмы, и таким образом, в связи с вышеизложенным, существует определенная необходимость в разработке собственной криптографической хеш-функции.

Задача разработки нового криптографического алгоритма хеширования является сложной и противоречивой. Разрабатываемый алгоритм должен удовлетворять основным требованиям безопасности, предъявляемым криптографическим хеш-функциям, а также обладать высокими показателями быстродействия. Внутренняя структура алгоритма должна быть простой, ясной, обоснованной и обеспечивать возможность эффективной реализации на программном и/или аппаратном уровнях. В данной работе для решения этой задачи предлагается использовать хорошо исследованные конструкции, обоснованно гарантирующие соответствие требованиям безопасности.

Наиболее популярной и перспективной конструкцией является схема «Sponge» («криптографическая губка») [18], [19]. С её помощью кроме хеш-функций можно создавать такие криптомодули, как блочные симметричные шифры, коды аутентификации сообщения и поточные шифры. Более того, по этой схеме был спроектирован алгоритм Кессак [20], ставший победителем конкурса SHA-3. Схему можно описать как последовательность следующих основных преобразований, в результате которых вычисляется хеш-значение заданного сообщения:

1) Дополнение (padding), при котором входное сообщение дополняется некоторым количеством битов так, чтобы длина дополненного сообщения была кратна заданной длине блока сообщения.

2) Инициализация состояния, при котором задается некоторое начальное значение состояния.

3) «Фаза впитывания» (absorbing phase), при котором сообщение сжимается итеративно.

4) «Фаза выжимания» (squeezing phase), при котором в результате требуемое хеш-значение сообщения извлекается.

Существующие различные модификации схемы отличаются друг от друга различными способами дополнения, вариантами реализации инициализации состояния. Но основным и важным компонентом схемы «Sponge» является внутренняя функция, являющейся преобразованием фиксированной длины или перестановкой, оперирующей с фиксированным числом битов, составляющих внутреннее состояние функции.

Классическая схема «Sponge» и большинство ее модификаций предполагают в своем составе только одну внутреннюю функцию. В данной работе рассматривается пример алгоритма хеширования на основе модифицированной схемы «Sponge», которая предполагает использование уже множества внутренних функций. В рассматриваемом алгоритме используются три различные внутренние функции.

Методы. Для построения криптографической хеш-функции применим вариант модификации схемы «Sponge», который предполагает использование множества внутренних функций [21], [22]. Согласно этой схеме над входным сообщением выполняются следующие преобразования:

1) К входному сообщению применяется функция дополнения, в результате которой к сообщению добавляются дополнительные биты, и сообщение представляется в виде конкатенации блоков определенной одинаковой длины r .

2) Выполняется функция инициализации, т.е. заполнение начального значения некоторой переменной S , битовой последовательности некоторой определенной длины, называемой состоянием.

3) К состоянию S и первому блоку сообщения применяется функция инжекции сообщения, в результате которой преобразовывается значение состояния S .

4) Из заданного множества внутренних функций выбирается функция f с помощью функции выбора.

5) К состоянию S применяем функцию f .

6) К состоянию S и следующему блоку сообщения применяется функция инжекции сообщения, в результате которой преобразовывается значение состояния S .

7) Из заданного множества внутренних функций выбирается функция f с помощью функции выбора.

8) К состоянию S применяем функцию f .

9) Повторяются шаги 6, 7 и 8 до тех пор, пока не будут обработаны таким образом все блоки сообщения.

10) Из состояния S получаем первый выходной блок длиной r' (не обязательно равной r) с помощью функции извлечения.

11) Из заданного множества внутренних функций выбирается функция f с помощью функции выбора.

12) К состоянию S применяем функцию f .

13) Из состояния S получаем следующий выходной блок длиной r' с помощью функции извлечения.

14) Из заданного множества внутренних функций выбирается функция f с помощью функции выбора.

15) К состоянию S применяем функцию f .

16) Повторяются шаги 13, 14 и 15 до тех пор, пока общая длина всех возвращенных блоков не будет больше или равна требуемой длине хеш-значения.

17) К полученным выходным блокам применяется функция завершения, в результате которой получается требуемое хеш-значение.

В качестве внутренних функций применим следующие три преобразования.

А) Внутренняя функция F_0 строится на основе обобщенной методологии проектирования AES с размерностью 9 [23].

Внутренняя функция F_0 итеративно использует S -блоки, линейное преобразование и перестановку.

Внутренняя функция F_0 использует два 4-битовых S -блока S_0 и S_1 , заданные следующими таблицами.

S_0

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
$S_0(x)$	9	0	4	B	D	C	3	F	1	A	2	6	7	5	8	E

S_1

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
$S_1(x)$	3	C	6	D	5	7	1	9	F	2	0	4	B	A	E	8

Внутренняя функция F_0 использует линейное преобразование L , реализующее (4, 2, 3) МДР код над $GF(2^4)$, где умножение определяется как умножение двоичных многочленов по модулю неприводимого многочлена $x^4 + x + 1$. L преобразовывает пару 4-битовых слов $X = (x_0, x_1, x_2, x_3)$, $Y = (y_0, y_1, y_2, y_3)$ следующим образом:

$$L(x_0, x_1, x_2, x_3, y_0, y_1, y_2, y_3) = (x_0 + (y_1 + x_2), x_1 + (y_2 + x_3 + x_0), x_2 + (y_3 + x_0) + (y_0 + x_1), x_3 + (y_0 + x_1), y_0 + x_1, y_1 + x_2, y_2 + x_3 + x_0, y_3 + x_0).$$

Внутренняя функция F_0 использует перестановку P . P – перестановка 512 элементов, являющаяся композицией трех перестановок 512 элементов $P = p_0 \circ p_1 \circ p_2$.

p_0 – перестановка 512 элементов, определяемая следующим образом: $p_0(x_i) = x_i, i = 0, \dots, 255, p_0(x_{2i+0}) = x_{2i+1}, i = 128, \dots, 255, p_0(x_{2i+1}) = x_{2i+0}, i = 128, \dots, 255$.

p_1 – перестановка 512 элементов, определяемая следующим образом: $p_1(x_i) = x_{2i}, i = 0, \dots, 255, p_1(x_{i+256}) = x_{2i+1}, i = 0, \dots, 255$.

p_2 – перестановка 512 элементов, определяемая следующим образом: $p_2(x_{4i+0}) = x_{4i+0}, i = 0, \dots, 127, p_2(x_{4i+1}) = x_{4i+1}, i = 0, \dots, 127, p_2(x_{4i+2}) = x_{4i+3}, i = 0, \dots, 127, p_2(x_{4i+3}) = x_{4i+2}, i = 0, \dots, 127$.

Внутренняя функция F_0 использует раундовое преобразование R , выполняемое над 2048 битовыми словами. Раундовое преобразование $R(A, C)$ определяется на основе определенных выше S -блоков S_0 и S_1 , линейного преобразования L и перестановки P следующим образом.

Пусть $A = (a_0 \parallel a_1 \parallel \dots \parallel a_{511})$ – 2048 битовое слово, где $a_i (i = 0, \dots, 511)$ – 4-битовые слова.

Пусть $C = (C_0 \parallel C_1 \parallel \dots \parallel C_{511})$ – 512 битовое слово.

- 1) К слову A применяется S -блоки S_0 и S_1 . Для каждого $i = 0, \dots, 511$, a_i заменяется на $a'_i = S_0(a_i)$, если $C_i = 0$, или a_i заменяется на $a'_i = S_1(a_i)$, если $C_i = 1$.
- 2) К полученному слову $A' = (a'_0 \parallel a'_1 \parallel \dots \parallel a'_{511})$ применяется линейное преобразование L . Для каждого $i = 0, \dots, 255$, пара 4-битовых слов (a'_{2i}, a'_{2i+1}) заменяется на $(a''_{2i}, a''_{2i+1}) = L(a'_{2i}, a'_{2i+1})$.
- 3) К полученному слову $A'' = (a''_0 \parallel a''_1 \parallel \dots \parallel a''_{511})$ применяется перестановка P .

Внутренняя функция F_0 использует в качестве раундовых констант 512 битовые слова $C_r, r = 0, 1, \dots, 47$, определяемые следующим образом.

C_0 – целая часть числа $(\sqrt{2} - 1) \times 2^{512}$.

Для генерации остальных констант используются преобразование R_0 и перестановка P_0 .

P_0 – перестановка 128 элементов, аналогичная перестановке P , является композицией трех перестановок 128 элементов $P_0 = p'_0 \circ p'_1 \circ p'_2$.

p'_0 – перестановка 128 элементов, определяемая следующим образом: $p'_0(x_i) = x_i, i = 0, \dots, 63, p'_0(x_{2i+0}) = x_{2i+1}, i = 32, \dots, 63, p'_0(x_{2i+1}) = x_{2i+0}, i = 32, \dots, 63$.

p'_1 – перестановка 128 элементов, определяемая следующим образом: $p'_1(x_i) = x_{2i}, i = 0, \dots, 63, p'_1(x_{i+64}) = x_{2i+1}, i = 0, \dots, 63$.

p'_2 – перестановка 128 элементов, определяемая следующим образом: $p'_2(x_{4i+0}) = x_{4i+0}, i = 0, \dots, 31, p'_2(x_{4i+1}) = x_{4i+1}, i = 0, \dots, 31, p'_2(x_{4i+2}) = x_{4i+3}, i = 0, \dots, 31, p'_2(x_{4i+3}) = x_{4i+2}, i = 0, \dots, 31$.

R_0 – преобразование, выполняемое над 512 битовыми словами, аналогичное преобразованию R . R_0 определяется следующим образом.

Пусть $A = (a_0 \parallel a_1 \parallel \dots \parallel a_{127})$ – 512 битовое слово, где $a_i (i = 0, \dots, 127)$ – 4-битовые слова.

- 1) К слову A применяется S -блок S_0 . Для каждого $i = 0, \dots, 127$, a_i заменяется на $a'_i = S_0(a_i)$.
- 2) К полученному слову $A' = (a'_0 \parallel a'_1 \parallel \dots \parallel a'_{127})$ применяется линейное преобразование L . Для каждого $i = 0, \dots, 63$, пара 4-битовых слов (a'_{2i}, a'_{2i+1}) заменяется на $(a''_{2i}, a''_{2i+1}) = L(a'_{2i}, a'_{2i+1})$.
- 3) К полученному слову $A'' = (a''_0 \parallel a''_1 \parallel \dots \parallel a''_{127})$ применяется перестановка P_0 .

Константы $C_r = R_0(C_{r-1}), r = 1, 2, \dots, 47$.

Внутренняя функция F_0 выполняет над входными битами следующие преобразования.

- 1) Входные 2048 битов $A = (a_0 \parallel a_1 \parallel \dots \parallel a_{2047})$ группируются по 4 бита. Получается 512 4-битовых слов (512 полубайтов) $Q_0 = (q_0 \parallel q_1 \parallel \dots \parallel q_{511})$, где

$q_{0,2i} = a_i \parallel a_{i+512} \parallel a_{i+1024} \parallel a_{i+1536}, i = 0, \dots, 255,$
 $q_{0,2i+1} = a_{i+256} \parallel a_{i+768} \parallel a_{i+1280} \parallel a_{i+1792}, i = 0, \dots, 255.$

- 2) Далее 48 раз применяется раундовое преобразование R с раундовыми константами C_r , получая в результате $Q_{r+1} = R(Q_r, C_r)$, $r = 0, 1, \dots, 47$.
- 3) Полученные в результате последнего раунда 512 4-битовых слов (512 полуబайтов) $Q_{48} = (q_{48,0} \parallel q_{48,1} \parallel \dots \parallel q_{48,511})$ разгруппированы. Получаются выходные 2048 битов $B = (b_0 \parallel b_1 \parallel \dots \parallel b_{2047})$, где
 $b_i \parallel b_{i+512} \parallel b_{i+1024} \parallel b_{i+1536} = q_{48,2i}, i = 0, \dots, 255,$
 $b_{i+256} \parallel b_{i+768} \parallel b_{i+1280} \parallel b_{i+1792} = q_{48,2i+1}, i = 0, \dots, 255.$

Б) Внутренняя функция F_1 основана на словарных регистрах сдвига с обратной связью по переносу кольцевой конфигурации [24], [25].

Словарный регистр сдвига с обратной связью по переносу кольцевой конфигурации состоит из:

- 1) основного сдвигового регистра;
- 2) функции обратной связи;
- 3) регистра переноса.

Сдвиговый регистр – это конечная последовательность w ячеек $m = (m_0, m_1, \dots, m_{w-1})$, где каждая ячейка предназначена для хранения одного r -битового слова.

Регистр переноса – также конечная последовательность w ячеек $c = (c_0, c_1, \dots, c_{w-1})$, где каждая ячейка предназначена для хранения одного r -битового слова.

Функция обратной связи определяется следующими соотношениями:

$m(t+1) = T \cdot m(t) + c(t) \bmod 2$, $c(t+1) = T \cdot m(t) + c(t) \div 2$, где T – матрица перехода.

Матрица перехода T – квадратная блочная матрица порядка w с элементами $T(i, j)$, определяемыми следующим образом:

- 1) для $i = 0, \dots, w-2$ $T(i, i+1)$ – единичная матрица порядка r ,
- 2) $T(w-1, 0)$ – единичная матрица порядка r ,
- 3) для некоторых $i = i_0, \dots, i_{f-1}$, где $f \leq w-1$,

$T(i, j_i)$ – матрица порядка r , представляющая сдвиг вправо или влево или циклический сдвиг вправо или влево на некоторое s количество битов,

- 4) для остальных i и j $T(i, j)$ – нулевая матрица порядка r .

В общем случае матрица перехода имеет следующий вид:

$$T = \begin{pmatrix} I_r & R_0 & & \\ R_1 & I_r & (0) & \\ & (0) & I_r & R_2 \\ & & R_{w-2} & I_r \\ I_r & R_{w-1} & & \end{pmatrix},$$

где

I_r – единичная матрица порядка r ,

R_i – матрица порядка r , представляющая сдвиг вправо или влево или циклический сдвиг вправо или влево на некоторое s количество битов.

Матрица, представляющая сдвиг влево, может быть представлена следующей матрицей SL для r -битного слова:

$$SL \cdot (x_0, \dots, x_{r-1})^t = (x_1, \dots, x_{r-1}, 0)^t.$$

Матрица, представляющая сдвиг вправо, может быть представлена следующей матрицей SR для r-битного слова:

$$SR \cdot (x_0, \dots, x_{r-1})^t = (0, x_0, x_1, \dots, x_{r-2})^t.$$

Матрица, представляющая циклический сдвиг влево, может быть представлена следующей матрицей RL для r-битного слова:

$$RL \cdot (x_0, \dots, x_{r-1})^t = (x_{r-1}, x_0, x_1, \dots, x_{r-2})^t.$$

Матрица, представляющая циклический сдвиг вправо, может быть представлена следующей матрицей RR для r-битного слова:

$$RR \cdot (x_0, \dots, x_{r-1})^t = (x_1, \dots, x_{r-1}, x_0)^t.$$

В этом случае параметры R_i матрицы T равны SL^a , SR^b , RL^c или RR^d , где a, b, c и d представляют собой искомые сдвиги или циклические сдвиги.

Матрица перехода должна удовлетворять следующим свойствам:

$$1) \log_2(q) \geq b, \det(T) \neq 0,$$

$$2) q = \det(I - 2T) - \text{простое число и порядок 2 по модулю } q \text{ равен } |q| - 1.$$

Алгоритм выбора матрицы перехода [26]:

$$1) \text{Заполняется матрица } T = (T(i, j)), 0 \leq i, j < w, \text{ следующим образом:}$$

а) для $i = 0, \dots, w-2$ $T(i, i+1)$ – единичная матрица порядка r,

б) $T(w-1, 0)$ – единичная матрица порядка r,

в) для остальных j и j $T(i, j)$ – нулевая матрица порядка r.

2) Из номеров 0, ..., w-1 выбираем случайным образом номера i_0, \dots, i_{f-1} ; j_0, \dots, j_{f-1} . Из чисел $-r/2, \dots, -1, 1, \dots, r/2$ выбираем случайным образом числа s_0, \dots, s_{f-1} .

3) Цикл по 1 от 0 до f-1:

$$T(i_l, j_l) := T(i_l, j_l) + SL^{s_l}, \text{ если } s_l > 0,$$

$$T(i_l, j_l) := T(i_l, j_l) + SR^{-s_l}, \text{ если } s_l < 0,$$

где SL^{s_l} – матрица порядка r, представляющая сдвиг влево на s_l количество битов, SR^{-s_l}

- матрица порядка r, представляющая сдвиг вправо на s_l количество битов.

Вычисляется число $q = \det(I - 2T)$.

Если q простое и порядок 2 по модулю q равен $|q| - 1$, то в качестве результата алгоритма возвращается матрица T, в противном случае возвращаемся к шагу 2).

Внутренняя функция F_1 , основанная на словарных регистрах сдвига с обратной связью по переносу кольцевой конфигурации, определяется следующим образом.

Функция выполняет над входными битами следующие преобразования:

Входные биты определяют начальное значение сдвигового регистра:

$$m_0(0), m_1(0), \dots, m_{w-1}(0),$$

где $m_i(0)$ – r-битовое слово.

Начальное состояние регистра переноса:

$$c_0(0), c_1(0), \dots, c_{w-1}(0),$$

где $c_i(0)$ – r-битовое нулевое слово.

Следующие значения состояний сдвигового регистра и регистра переноса определяются следующим образом.

Для некоторых $i = i_0, \dots, i_{f-1}$, где $f \leq w-1$, определенных в результате генерации матрицы перехода, значения состояний сдвигового регистра

$$m_i(t) = m_{i+1}(t-1) + (m_{j_i}(t-1) \square s_{j_i}) + c_i(t-1),$$

и регистра переноса

$$c_i(t) = m_{i+1}(t-1) \cdot (m_{j_i}(t-1) \square s_{j_i}) + m_{i+1}(t-1) \cdot c_i(t-1) + (m_{j_i}(t-1) \square s_{j_i}) \cdot c_i(t-1).$$

Далее

$$m_{w-1}(t) = m_0(t-1) + (m_{j_{w-1}}(t-1) \square s_{j_{w-1}}) + c_{w-1}(t-1),$$

$$c_{w-1}(t) = m_0(t-1) \cdot (m_{j_{w-1}}(t-1) \square s_{j_{w-1}}) + m_0(t-1) \cdot c_{w-1}(t-1) + (m_{j_{w-1}}(t-1) \square s_{j_{w-1}}) \cdot c_{w-1}(t-1).$$

Для остальных i значения состояний сдвигового регистра определяются следующим образом;

$$m_i(t) = m_{i+1}(t-1).$$

Здесь $\square s$ обозначает сдвиг влево на s битов или сдвиг вправо на $|s|$, если $s \leq 0$, \cdot - побитовое сложение (XOR), \cdot - умножение по модулю 2^r .

Выполняется итерация $D+4$ раза, где D – диаметр графа, матрицей смежности которого является матрица T .

Далее выполняется w итераций. В конце каждой итерации выполняется побайтовые замены с помощью таблицы замен (S-блок) в последовательности слов основного регистра $m_{i_0} \square s_{i_0}, \dots, m_{i_{f-1}} \square s_{i_{f-1}}$ для некоторых для некоторых $i = i_0, \dots, i_{f-1}$, где $f \leq w-1$, определенных в результате генерации матрицы перехода.

Затем к преобразованным словам применяется побитовое сложение (XOR), получая в результате r -битовое слово. В конце получается всех w итераций получается $b = wr$ выходных битов.

В) Внутренняя функция F_2 строится аналогично перестановке Кессак, но имеет ряд основных отличий.

Внутренняя функция F_2 представляет собой перестановку, которую можно описать как последовательность операций над 2048-битовым состоянием S . Состояние S разбивается на 32 64-битовых слова S_0, S_1, \dots, S_{31} . Слова записываются в матрицу размера 4×8 последовательно слева направо и сверху вниз. Четверки $S_i, S_{i+8}, S_{i+16}, S_{i+24}$, $i = 0, 1, \dots, 7$, называются вертикальными плоскостями, а восьмерки $S_{8j}, S_{8j+1}, \dots, S_{8j+7}$, $j = 0, 1, 2, 3$ – горизонтальными. Другими словами, состояние S можно рассматривать как трехмерный битовый массив $S(x, y, z)$, $x = 0, 1, \dots, 3$, $y = 0, 1, \dots, 7$, $z = 0, 1, \dots, 63$.

Действие внутренней функции состоит в 32-кратном повторении последовательности следующих преобразований.

$$1) f_1(S(x, y, z)) = S(x, y, z) + S(0, y-1, z) + S(1, y-1, z) + S(2, y-1, z) + S(3, y-1, z) + S(0, y+1, z-1) + S(1, y+1, z-1) + S(2, y+1, z-1) + S(3, y+1, z-1) \text{ при } x = 0, 1, \dots, 3, y = 1, \dots, 6, z = 1, \dots, 63;$$

$$f_1(S(x, 0, 0)) = S(x, 0, 0) + S(0, 7, 0) + S(1, 7, 0) + S(2, 7, 0) + S(3, 7, 0) + S(0, 1, 63) + S(1, 1, 63) + S(2, 1, 63) + S(3, 1, 63) \text{ при } x = 0, 1, \dots, 3;$$

$$f_1(S(x, 7, 0)) = S(x, 7, 0) + S(0, 6, 0) + S(1, 6, 0) + S(2, 6, 0) + S(3, 6, 0) + S(0, 0, 63) + S(1, 0, 63) + S(2, 0, 63) + S(3, 0, 63) \text{ при } x = 0, 1, \dots, 3.$$

$$2) f_2(S(x, y, z)) = S(x, y, z - (t+1)(t+2)/2),$$

где t такое, что $0 \leq t < 32$ и $\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}^t \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ в $GF(4)^{2 \times 2}$, или $t = -1$ при $x = y = 0$.

$$3) f_3(S(x, y, z)) = S(x', y', z), \text{ где } x', y' \text{ такие, что } \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix}.$$

$$4) f_4 - \text{оптимальный 8 битовый S-блок, применяемый к 8-битовым строкам } S(x, 0, z),$$

$S(x, 1, z), S(x, 2, z), S(x, 3, z), S(x, 4, z), S(x, 5, z), S(x, 6, z), S(x, 7, z)$.

В данной работе этот S-блок не определяется. Можно использовать уже существующие оптимальные S-блок или сформировать с помощью известных методов генерации оптимальных S-блоков.

5) f_5 состоит в сложении слова S_{31} с 64-битовой константой С. Константа С вычисляется при помощи словарного регистра сдвига с обратной связью по переносу кольцевой конфигурации.

Результат. Далее рассмотрим пример алгоритма хеширования на основе модифицированной схемы «Sponge», в котором задается множество трех внутренних функций, указанных выше. Согласно этому алгоритму над входным сообщением выполняются следующий преобразования.

1) К входному сообщению применяется функция дополнения, в результате которой к сообщению добавляются дополнительные биты, и сообщение представляется в виде конкатенации блоков определенной одинаковой длины r .

Функция дополнения определяется следующим образом. К входному сообщению (со стороны наименьшего значащего бита) добавляется один бит 1, за которым следует минимальное число битов 0 и в конце один бит 1, так что длина результата кратна длине блока. Причем к сообщению добавляется не менее 2 битов и не более количества битов, равного длине блока плюс один.

2) Выполняется функция инициализации, т.е. заполнение начального значения некоторой переменной S , битовой последовательности некоторой определенной длины b , называемой состоянием.

Функция инициализации определяется следующим образом. Начальное значение состояния – это b - 80 битов 0, затем 80-битовое представление слова “ТАҢБА” в кодировке ЮНИКОД (0...0 0000 0100 0010 0000 0100 0001 0000 0000 0100 1010 0010 0000 0100 0001 0001 0000 0100 0001 0000)

3) К состоянию S и первому блоку сообщения применяется функция инжекции сообщения, в результате которой преобразовывается значение состояния S .

Функция инжекции сообщения определяется следующим образом. Выполняется побитово операция XOR между первыми r битами состояния S и первым блоком. И затем первые r бит состояния S заменяют на результат этой операции.

4) Из заданного множества внутренних функций выбирается функция F_i с помощью функции выбора.

Функция выбора определяется следующим образом.

Входное сообщение делится на две части. Если длина m сообщения является четным числом, то делится на две части одинаковой длины, а если не четным, то две части с длинами $[m/2]+1$ и $[m/2]$.

Генерируется первый бит выбора. Для этого к первой части входного сообщения применяют корректор фон Неймана, т.е. биты входного сообщения рассматриваются парами: если в паре два одинаковых значения, то пара отбрасывается, если биты разные, то вместо пары записывается только первый бит в этой паре. Затем к результату применяют XOR корректор, т.е. все биты получившейся последовательности складываются по модулю 2. В результате получается первый бит выбора. Аналогичным образом генерируется второй бит выбора, применяя корректор фон Неймана и XOR корректор к второй части входного сообщения.

Первые r бит состояния S последовательно подаются на информационный вход первого 1-2 демультиплексора, на адресный вход которого подается первый бит выбора, а остальные s бит состояния S последовательно подаются на информационный вход второго 1-2 демультиплексора, на адресный вход которого также подается первый бит выбора. Если бит выбора - 0, то полученные на выходе биты первого 1-2 демультиплексора подаются на информационный вход третьего 1-2 демультиплексора, на адресный вход которого подается

второй бит выбора, а полученные на выходе второго 1-2 демультиплексора подаются на информационный вход четвертого 1-2 демультиплексора, на адресный вход которого также подается второй бит выбора. Далее к полученным на выходе $r+c$ битам будет применена внутренняя функция F_0 , если второй бит выбора - 0, или будет применена внутренняя функция F_1 , если второй бит выбора - 1. Если же первый бит выбора - 1, то к полученным на выходе $r+c$ битам будет применена внутренняя функция F_2 . Биты выбора инвертируются.

5) К состоянию S применяется выбранная внутренняя функция F_i , $i=0,1,2$.

6) К состоянию S и следующему блоку сообщения применяется функция инжекции сообщения, в результате которой преобразовывается значение состояния S .

7) Из заданного множества внутренних функций выбирается функция F_i с помощью функции выбора.

8) К состоянию S применяется выбранная внутренняя функция F_i , $i=0,1,2$.

9) Повторяются шаги 6, 7 и 8 до тех пор, пока не будут обработаны таким образом все блоки сообщения.

10) Из состояния S получаем первый выходной блок длиной r' (не обязательно равной r) с помощью функции извлечения.

Функция извлечения определяется следующим образом. Первые r' бит состояния S образуют выходной блок.

11) Из заданного множества внутренних функций выбирается функция F_i с помощью функции выбора.

12) К состоянию S применяется выбранная внутренняя функция F_i , $i=0,1,2$.

13) Из состояния S получаем следующий выходной блок длиной r' с помощью функции извлечения.

14) Из заданного множества внутренних функций выбирается функция F_i с помощью функции выбора.

15) К состоянию S применяется выбранная внутренняя функция F_i , $i=0,1,2$.

16) Повторяются шаги 13, 14 и 15 до тех пор, пока общая длина всех возвращенных блоков не будет больше или равна требуемой длине хеш-значения.

17) К полученным выходным блокам применяется функция завершения, в результате которой получается требуемое хеш-значение.

Функция завершения определяется следующим образом. Первые n бит полученной последовательности образуют хеш-значение.

Обсуждение. В данной статье рассмотрен новый вариант криптографической хеш-функции, построенный на основе модифицированной схемы «Sponge». Согласно этой схеме из заданного множества внутренних функций выбирается функция f с помощью функции выбора. В построенном алгоритме используется множество трех различных внутренних функций. Первая внутренняя функция строится на основе обобщенной методологии проектирования AES. Эта методология позволяет легко проектировать блочные шифры для зашифровывания больших блоков открытого текста с помощью небольших компонентов, представляя обрабатываемые данные в виде многомерных массивов. Внутренняя функция является блочным шифром, который обрабатывает 2048 битов, представляемых в виде 9-мерного массива из 512 4-битовых элементов размера $2 \times 2 \times 2$. Каждый раунд шифрования состоит из трех преобразований (S-блоки, линейное преобразование и перестановка), аналогичных трем раундовым преобразованиям AES SubBytes, MixColumns и ShiftRows. Вторая внутренняя функция основана на использовании словарных регистров сдвига с обратной связью по переносу кольцевой конфигурации. Третья внутренняя функция аналогична перестановке Кессак, но обладает несколькими основными отличиями. Внутренняя функция оперирует над 2048-битовым состоянием S , который можно рассматривать как трехмерный битовый массив размера $4 \times 8 \times 64$. В этой внутренней функции вместо 5-битового S-блока используется 8-битовый. В связи с этим изменены параметры трехмерного представления состояния. Для формирования раундовых констант вместо

регистра сдвига с линейной обратной связью используется словарный регистр сдвига с обратной связью по переносу кольцевой конфигурации.

Источник финансирования. Данная работа выполнена при финансовой поддержке грантового финансирования МЦРИАП, № АР06851124.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Mendel F., Pramstaller N., Rechberger C. A (second) preimage attack on the GOST hash function. In: Nyberg K. (eds) Fast Software Encryption. FSE 2008. LNCS, vol. 5086, Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. - pp. 224–234.
- [2] Mendel F., Pramstaller N., Rechberger C., Kontak M., Szmida J. Cryptanalysis of the GOST hash function. In: Wagner D. (eds) Advances in Cryptology – CRYPTO 2008. CRYPTO 2008. LNCS, vol. 5157, Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. - pp. 162–178.
- [3] Wang X., Yao A.C., Yao F. Cryptanalysis on SHA-1. In: Proc. of NIST Cryptographic Hash Workshop (2005). October 31 - November 1, 2005. http://csrc.nist.gov/groups/ST/hash/documents/Wang_SHA1-New-Result.pdf.
- [4] Wang X., Yin Y.L. Yu H. Finding collisions in the full SHA-1. In: Shoup V. (eds) Advances in Cryptology – CRYPTO 2005. CRYPTO 2005. LNCS, vol. 3621, Springer, Berlin, Heidelberg, 2005. - pp. 17–36.
- [5] Stevens M., Karpman P., Peyrin T. Freestart collision for full SHA-1. IACR Cryptology ePrint Archive, Report 2015/967, 2015. <https://eprint.iacr.org/2015/967>.
- [6] Stevens M., Bursztein E., Karpman P., Albertini A., Markov Y. The First Collision for Full SHA-1. In: Katz, J., Shacham, H. (eds.) Advances in Cryptology – CRYPTO 2017, LNCS, vol. 10401, Springer, Cham, 2017. - pp.570–596.
- [7] Stevens M. Attacks on Hash Functions and Applications. PhD thesis, Mathematical Institute, Faculty of Science, Leiden University, 2012.
- [8] Leurent G., Peyrin T. From Collisions to Chosen-Prefix Collisions Application to Full SHA-1. In: Ishai Y., Rijmen V. (eds) Advances in Cryptology – EUROCRYPT 2019. LNCS, vol. 11478, Springer, Cham, 2019. - pp. 527–555.
- [9] Leurent G., Peyrin T. SHA-1 is a Shambles First Chosen-Prefix Collision on SHA-1 and Application to the PGP Web of Trust. IACR Cryptology ePrint Archive, Report 2020/014, 2020. <https://eprint.iacr.org/2020/014>.
- [10] Albertini A., Aumasson J.-P., Eichlseder M., Mendel F., Schläffer M. Malicious hashing: Eve’s variant of SHA-1. In: Joux, A., Youssef, A. (eds.) Selected Areas in Cryptography -- SAC 2014. SAC 2014. LNCS, vol. 8781, Springer, Cham, 2014. - pp. 1–19.
- [11] Aumasson J.-P. Eve’s SHA3 candidate: malicious hashing. (2011), <https://www.aumasson.jp/data/papers/Aum11a.pdf>.
- [12] AlTawy R., Youssef A.M. Watch your constants: malicious streebog. IET Information Security, 9(6), 2015. - pp. 328–333.
- [13] Morawiecki P. Malicious Keccak. IACR Cryptology ePrint Archive, Report 2015/1085, 2015. <https://eprint.iacr.org/2015/1085>.
- [14] Shumow D., Ferguson N. On the possibility of a back door in the NIST SP800-90 Dual Ec Prng. In: CRYPTO 2007 Rump Session, 2007. <http://rump2007.cr.yp.to/15-shumow.pdf>.
- [15] Barker E., Kelsey J. Recommendation for random number generation using deterministic random bit generators (revised). NIST Special Publication 800-90, 2007.
- [16] Perrin L. Partitions in the S-Box of Streebog and Kuznyechik. IACR Transactions on Symmetric Cryptology, 2019(1). - pp. 302–329.
- [17] National standard of the Russian Federation GOST R 34.12-2015 “Information Technology. Cryptographic data security. Block ciphers”, English version, Standartinform, Moscow, 2015.
- [18] Bertoni, G., Daemen, J., Peeters, M., Van Assche, G.: Sponge functions. In: Ecrypt Hash Workshop 2007 (May 2007); available as public comment to NIST, http://www.csrc.nist.gov/pki/HashWorkshop/Public_Comments/2007_May.html
- [19] Bertoni G., Daemen J., Peeters M., Van Assche G. Cryptographic sponge functions. Version 0.1, January 14, 2011. <https://keccak.team/files/CSF-0.1.pdf>.
- [20] Bertoni G., Daemen J., Peeters M., Van Assche G. The Keccak reference. SHA-3 competition (round 3), 2011. https://keccak.team/sponge_duplex.html.

- [21] Оспанов Р.М., Сейткулов Е.Н., Арапов Н.К., Ергалиева Б.Б. Модификация схемы построения криптографических хеш-функций SPONGE. Вестник КазНИТУ. - 2020. - N 5 (141). - С.520-525
- [22] Оспанов Р.М., Сейткулов Е.Н. Киберщик: О различных реализациях схемы построения криптографических хеш-функций «Sponge». Материалы Международной научно-практической Web-конференции «Военно-техническое обеспечение деятельности вооруженных сил: мировой опыт и тенденции развития», 20-22 июля 2020 года. - Нур-Султан: Из-во НУО, 2020. - С.305-308
- [23] Wu H. The Hash Function JH. 2011. https://www3.ntu.edu.sg/home/wuhj/research/jh/jh_round3.pdf.
- [24] Оспанов Р.М., Сейткулов Е.Н. О способах проектирования внутренней функции для схемы построения криптографических хеш-функций SPONGE. Вестник КазНИТУ. – 2020. - N 5 (141). - С.645-650
- [25] Оспанов Р.М. Киберщик: О внутренней функции в схеме построения криптографических хеш-функций «Sponge». Материалы Международной научно-практической Web-конференции «Военно-техническое обеспечение деятельности вооруженных сил: мировой опыт и тенденции развития», 20-22 июля 2020 года. - Нур-Султан: Из-во НУО, 2020. - С.351-353
- [26] Berger T. P., Minier M., Pousse B. Software Oriented Stream Ciphers Based upon FCSRs in Diversified Mode. In: Roy B., Sendrier N. (eds) Progress in Cryptology - INDOCRYPT 2009. INDOCRYPT 2009. LNCS, vol.5922, Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. - pp.119-135.

REFERENCES

- [1] Mendel F., Pramstaller N., Rechberger C. A (second) preimage attack on the GOST hash function. In: Nyberg K. (eds) Fast Software Encryption. FSE 2008. LNCS, vol. 5086, Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. - pp. 224–234.
- [2] Mendel F., Pramstaller N., Rechberger C., Kontak M., Szmidt J. Cryptanalysis of the GOST hash function. In: Wagner D. (eds) Advances in Cryptology – CRYPTO 2008. CRYPTO 2008. LNCS, vol. 5157, Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. - pp. 162–178.
- [3] Wang X., Yao A.C., Yao F. Cryptanalysis on SHA-1. In: Proc. of NIST Cryptographic Hash Workshop (2005). October 31 - November 1, 2005. http://csrc.nist.gov/groups/ST/hash/documents/Wang_SHA1-New-Result.pdf.
- [4] Wang X., Yin Y.L. Yu H. Finding collisions in the full SHA-1. In: Shoup V. (eds) Advances in Cryptology – CRYPTO 2005. CRYPTO 2005. LNCS, vol. 3621, Springer, Berlin, Heidelberg, 2005. - pp. 17-36.
- [5] Stevens M., Karpman P., Peyrin T. Freestart collision for full SHA-1. IACR Cryptology ePrint Archive, Report 2015/967, 2015. <https://eprint.iacr.org/2015/967>.
- [6] Stevens M., Bursztein E., Karpman P., Albertini A., Markov Y. The First Collision for Full SHA-1. In: Katz, J., Shacham, H. (eds.) Advances in Cryptology – CRYPTO 2017, LNCS, vol. 10401, Springer, Cham, 2017. - pp.570–596.
- [7] Stevens M. Attacks on Hash Functions and Applications. PhD thesis, Mathematical Institute, Faculty of Science, Leiden University, 2012.
- [8] Leurent G., Peyrin T. From Collisions to Chosen-Prefix Collisions Application to Full SHA-1. In: Ishai Y., Rijmen V. (eds) Advances in Cryptology – EUROCRYPT 2019. LNCS, vol. 11478, Springer, Cham, 2019. - pp. 527–555.
- [9] Leurent G., Peyrin T. SHA-1 is a Shambles First Chosen-Prefix Collision on SHA-1 and Application to the PGP Web of Trust. IACR Cryptology ePrint Archive, Report 2020/014, 2020. <https://eprint.iacr.org/2020/014>.
- [10] Albertini A., Aumasson J.-P., Eichlseder M., Mendel F., Schläffer M. Malicious hashing: Eve’s variant of SHA-1. In: Joux, A., Youssef, A. (eds.) Selected Areas in Cryptography -- SAC 2014. SAC 2014. LNCS, vol. 8781, Springer, Cham, 2014. - pp. 1–19.
- [11] Aumasson J.-P. Eve’s SHA3 candidate: malicious hashing. (2011), <https://www.aumasson.jp/data/papers/Aum11a.pdf>.
- [12] AlTawy R., Youssef A.M. Watch your constants: malicious streebog. IET Information Security, 9(6), 2015. - pp. 328–333.
- [13] Morawiecki P. Malicious Keccak. IACR Cryptology ePrint Archive, Report 2015/1085, 2015. <https://eprint.iacr.org/2015/1085>.
- [14] Shumow D., Ferguson N. On the possibility of a back door in the NIST SP800-90 Dual Ec Prng. In: CRYPTO 2007 Rump Session, 2007. <http://rump2007.cr.yp.to/15-shumow.pdf>.

- [15] Barker E., Kelsey J. Recommendation for random number generation using deterministic random bit generators (revised). NIST Special Publication 800-90, 2007.
- [16] Perrin L. Partitions in the S-Box of Streebog and Kuznyechik. IACR Transactions on Symmetric Cryptology, 2019(1). - pp. 302–329.
- [17] National standard of the Russian Federation GOST R 34.12-2015 “Information Technology. Cryptographic data security. Block ciphers”, English version, Standartinform, Moscow, 2015.
- [18] Bertoni, G., Daemen, J., Peeters, M., Van Assche, G.: Sponge functions. In: Ecrypt Hash Workshop 2007 (May 2007); available as public comment to NIST, http://www.csrc.nist.gov/pki/HashWorkshop/Public_Comments/2007_May.html
- [19] Bertoni G., Daemen J, Peeters M., Van Assche G. Cryptographic sponge functions. Version 0.1, January 14, 2011. <https://keccak.team/files/CSF-0.1.pdf>.
- [20] Bertoni G., Daemen J, Peeters M., Van Assche G. The Keccak reference. SHA-3 competition (round 3), 2011. https://keccak.team/sponge_duplex.html.
- [21] Ospanov R.M., Seitkulov E.N., Arapov N.K., Ergalieva B.B. Modifikatsiya skhemy postroeniya kriptograficheskikh khesh-funktsii SPONGE. Vestnik KazNITU. - 2020. - N 5 (141). - C.520-525.
- [22] Ospanov R.M., Seitkulov E.N. Kibershchit: O razlichnykh realizatsiyakh skhemy postroeniya kriptograficheskikh khesh-funktsii «Sponge». Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi Web-konferentsii «Voenno-tehnicheskoe obespechenie deyatel'nosti vooruzhennykh sil: mirovoi optyt i tendentsii razvitiya», 20-22 iyulya 2020 goda. - Nur-Sultan: Iz-vo NUO, 2020. - S.305-308
- [23] Wu H. The Hash Function JH. 2011. https://www3.ntu.edu.sg/home/wuhj/research/jh/jh_round3.pdf.
- [24] Ospanov R.M., Seitkulov E.N. O sposobakh proektirovaniya vnutrennei funktsii dlya skhemy postroeniya kriptograficheskikh khesh-funktsii SPONGE. Vestnik KazNITU. – 2020. - N 5 (141). - C.645-650
- [25] Ospanov R.M. Kibershchit: O vnutrennei funktsii v skheme postroeniya kriptograficheskikh khesh-funktsii «Sponge». Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi Web-konferentsii «Voenno-tehnicheskoe obespechenie deyatel'nosti vooruzhennykh sil: mirovoi optyt i tendentsii razvitiya», 20-22 iyulya 2020 goda. - Nur-Sultan: Iz-vo NUO, 2020. - S.351-353
- [26] Berger T. P., Minier M., Pousse B. Software Oriented Stream Ciphers Based upon FCSRs in Diversified Mode. In: Roy B., Sendrier N. (eds) Progress in Cryptology - INDOCRYPT 2009. INDOCRYPT 2009. LNCS, vol.5922, Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. - pp.119-135.

Е.Н. Сейтқұлов*, Р.М. Оспанов, Б.Б.Ергалиева

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

*e-mail: yerzhan.seitkulov@gmail.com

ӨЗГЕРТІЛГЕН SPONGE СХЕМАСЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН КРИПТОГРАФИЯЛЫҚ ХЕШ ФУНКЦИЯСЫНЫҢ МЫСАЛАРЫ

Андратпа. Қазіргі уақытта «Sponge» схемасы заманауи криптографиялық хеш функцияларын құрудың ең сәтті және перспективалы тәсілі болып табылады. Бұл мақаланың мақсаты - осы схемаға негізделген криптографиялық хеш функциясының мысалын құру.. «Sponge» схемасының негізгі және маңызды құрамдас бөлігі-бұл бекітілген ұзындықты түрлендіру немесе функцияның ішкі күйін құрайтын биттердің белгіленген санымен жұмыс істейтін ішкі функция. Классикалық «Sponge» схемасы және оның көптеген модификациялары тек бір ішкі функцияны ұсынады. Бұл жұмыста көптеген ішкі функцияларды қолдануды қамтитын осы схемасының модификациясы қарастырылған. Ишкі функцияның үш жаңа нұсқасы қарастырылады. Біріншіден, айналмалы конфигурацияны беру үшін кері байланысы бар ығысу сөздік регистрлерін қолдануға негізделген ішкі функцияның нұсқасы қарастырылады. Екіншіден, Keccak ауыстыруына негізделген ішкі функцияның жаңа нұсқасы қарастырылады. Үшіншіден, AES жобалаудың жалпыланған әдіснамасы арқылы құрылған ішкі функция қарастырылады. Әрі қарай, модификацияланған схема негізінде және осы үш ішкі функцияны қолдана отырып, xth алгоритмі құрылады. Букіл схеманың белгі ретінде осы үш ішкі функцияның біреуін тандау жалған кездесік түрде жасалған хабарламаға тәуелді тандау биттерін қолдана арқылы анықталады.

Негізгі сөздер: акпараттық қауіпсіздік, криптография, хеш функциясы, «Sponge» схемасы, ішкі функциясы.

Y.N. Seitkulov*, R.M. Ospanov, B.B. Yergaliyeva
Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan
*e-mail: yerzhan.seitkulov@gmail.com

AN EXAMPLE OF A CRYPTOGRAPHIC HASH FUNCTION BASED ON A MODIFIED SPONGE SCHEME

Abstract. Currently, the «Sponge» scheme is the most successful and promising way to build modern cryptographic hash functions. The purpose of this article is to build an example of a cryptographic hash function based on this scheme. The main and important component of the scheme is the internal function, which is a fixed-length transformation or permutation that operates with a fixed number of bits that make up the internal state of the function. The classic «Sponge» scheme and most of its modifications assume only one internal function. In this paper, we consider a modification of this scheme, which involves the use of a set of internal functions. Three new variants of the internal function are considered. First, we consider a variant of the internal function based on the use of word ring feedback with carry shift registers. Second, we consider a new version of the internal function based on the Keccak permutation. Third, we consider an internal function constructed using the generalized AES design methodology. Then, based on the modified scheme and using these three internal functions, a hash algorithm is constructed. The selection of one of these three internal functions as part of the entire scheme is determined using message dependent selection bits generated in a pseudo-random manner.

Keywords: information security, cryptography, hash function, «Sponge» scheme, internal function.

СОДЕРЖАНИЕ

Науки о Земле

Сейтказина Г., Солтабаева С.

ОБ УЧЕТЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ГЕОМОНИТОРИНГЕ УСТОЙЧИВОСТИ КОНСТРУКЦИЙ СПОРТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРЕДГОРНОЙ МЕСТНОСТИ...	3
<i>Кабдыкадыров А.А., Зубова О.А., Муканова Г.А., Даулетбаева М.М., Воронова Н.В.</i>	
КЛИМАТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ САМООЧИЩЕНИЯ АТМОСФЕРЫ В Г. УСТЬ-КАМЕНГОРСКЕ.....	9
<i>Губашева Б.Е., Хасенова М.А.</i>	
ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ НА ТЕРРИТОРИИ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВА.....	17
<i>Нукарбекова Ж., Мухаметхан Б., Мажит А.</i>	
МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ КАРТ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ.....	24
<i>Анетов Б.Т.</i>	
НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МЕТРО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГНСС.....	30

Физико-математические науки

Маханова З.А., Кожабекова П.А., Сейтжаптар М.А., Сабит Н.Е.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МАРКЕРНОГО КОРПУСА КАЗАХСКОГО ЯЗЫКА....	36
<i>Домрачев В.Н.</i>	
АНАЛИЗ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ.....	40
<i>Рахимова Д.Р., Пазылхан Н.М., Ален Ж.Г.</i>	
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И ПРОГРАММНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕИЗВЕСТНЫХ СЛОВ ПРИ ПОСТРЕДАКТИРОВАНИИ МАШИННОГО ПЕРЕВОДА.....	46
<i>Сакабеков А.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ УРАВНЕНИЯ БОЛЬЦМАНА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....	54
<i>Кабдуллин М., Найзабаева Л.</i>	
АНАЛИЗ БИОМЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В КАРДИОЛОГИИ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	68
<i>Кабдуллин А.</i>	
ПОСТРОЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ РАННЕГО РИСКА РАЗВИТИЯ ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНИ СЕРДЦА.....	73
<i>Алексеева Л.А., Дадаева А.Н.</i>	
МЕТОД ОБОБЩЕННЫХ ФУНКЦИЙ В ПЛОСКИХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧАХ НЕСВЯЗАННОЙ ТЕРМОЭЛАСТОДИНАМИКИ.....	79
<i>Сейлов Ш.Ж., Журсинбек Е.Ш., Кузбаев А.Т., Сатыбалдина Д.Ж., Сейлов А.А., Шингисов Д.Ш., Гойхман В.Ю., Леваков А.К., Соколов Н.А.</i>	
СЕТЬ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ: МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ.....	91

Химико-металлургические науки

Абиков С.Б., Килибаев Е.О., Байхожаева Б.У., Абсеитов Е.Т.

ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СМЕСИ АРСЕНАТА КАЛЬЦИЯ С ПИРИТОМ 103

Алыбаева Р.А., Ахамбаева Н.Ш., Инелова З.А., Атабаева С.Д., Аутханова Н.М., Калмахан М.Н.

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ РАЗЛИЧНЫМИ ГЕНОТИПАМИ

ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ МЕДЬЮ И СВИНЦОМ.....

110

Технические науки

<i>Sagyntay M., Baigunchekov Zh.</i>	
АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ 3Д ПРИНТЕРОВ ДЛЯ ПОСЛОЙНОЙ ЗАЛИВКИ БЕТОНА	120
<i>Волокитина И.Е., Волокитин А.В., Панин Е.А., Молдабаева Г.Ж., Салько О.Ю.</i>	
СРАВНЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЕМЕДНОЙ И СТАЛЕАЛЮМИНЕВОЙ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОВОЛОК.....	128
<i>Исаметова М.Е., Нусинали Р.К., Калдан Г.У., Джасинбеков О.А., Ахмедов Х.А.</i>	
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО КОЛЕСА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ЛОПАСТНОЙ РЕШЕТКОЙ.....	135
<i>Ахметова Ш.Д., Козбагаров Р.А., Эуэзов Т.С., Алдеекеева Д.Т.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВИДОВ ОПАСНОСТЕЙ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА.....	144
<i>Яр-Мухамедова Г.Ш., Джаманбаева Г.Т., Бисембаев Б.Ж.</i>	
СОЗДАНИЕ МЕТАПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ ПЕРОВСКИТОВ.....	152
<i>Шалбаев К.К., Болатов С.М., Камзанов Н.С.</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ВОДОРОДА В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА И СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ	160
<i>Исаева А.Н., Корганбаев Б.Н., Волненко А.А., Жумадуллаев Д.К.</i>	
РАЗРАБОТКА СИСТЕМНО-ПОЭЛЕМЕНТНОЙ МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	166
<i>Копесбаева А.А., Мачковский М.Ю., Ким Е.С</i>	
О СОЗДАНИИ ЕДИННОГО ЦЕНТРА КОМПЕТЕНЦИЙ.....	174
<i>Бойкаев П.В., Ержан А.А., Дубовик И.А., Исаев В.О., А.А.Сутько</i>	
МЕТОДИКА СИНТЕЗА АДАПТИВНЫХ СОГЛАСУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ АНТЕНН UHF/VHF ДИАПАЗОНА.....	180
<i>Кудубаева С.А., Гриф М.Г., Жусупова Б.Т.</i>	
СОЗДАНИЕ АНИМИРОВАННОГО ПЕРСОНАЖА ДЛЯ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО СУРДОПЕРЕВОДА.....	196
<i>Муталиев А., К.И. Самойлов, Приемец О.Н.</i>	
ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПРИНЦИПОВ «ЗЕЛЕНОЙ АРХИТЕКТУРЫ» В КОНЦЕПЦИИ ТРАНСРЕГИОНАЛЬНОГО МОНОСТИЛИЗМА КОМПАНИИ «СКИДМОР, ОУИНГС ЭНД МЕРРИЛЛ».....	205
<i>Жетенбаев Н.Т., Нұрғизат Е.С., Балбаев Г.К., Шингисов Б.Т., Естемесова Г.Д.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ИСКУССТВЕННЫХ МЫШЦ.....	217
<i>Ержанова А.Е.</i>	
СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА РАСТЕНИЙ ПО ВЕГЕТАЦИОННЫМ ПЕРИОДАМ ДЛЯ АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ.....	226
<i>Туысхан К., Ахметова Г.Е., Ульева Г.А., Сапаров Д.С., Толубаев К.С.</i>	
АПРОБАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРОВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ.....	233
<i>Смайлов Н.К., Кошкінбаев С.Ж., Базарбай А.М., Абдықадыров А.А., Кабдолдина А.О., Кошкінбаева М.Ж.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИЛОВЫХ И ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ СОВМЕЩЕННЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ.....	241
<i>Сейткулов Е.Н., Оспанов Р.М., Ергалиева Б.Б.</i>	
ПРИМЕР КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ХЕШ-ФУНКЦИИ, ПОСТРОЕННОЙ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СХЕМЫ SPONGE.....	247

Редакторы:
Г.А. Буршукова
Верстка на компьютере:
Л. Касжанова

Заказ № 270

Адрес редакции:
ул. Сатпаева, 22, тел. 292-63-46
<https://vestnik.satbayev.university/index.php/journal/>

Департамент маркетинга и коммуникаций КазНИТУ
Казахского национального исследовательского
технического университета имени К.И. Сатпаева