

Регистрационный № 145-ж

№ 3 (89), октябрь, 2020

Основан в 1998 году

Выходит 4 раза в год

Ғылыми журнал

Д. Серікбаев атындағы
Шығыс Қазақстан техникалық университетінің

ХАБАРШЫСЫ



ВЕСТНИК

Восточно-Казахстанского технического университета
им. Д. Серикбаева

Научный журнал



Бас редакторы – Главный редактор

Ж.К. Шаймарданов

доктор биологических наук, профессор

Редакция алқасы – Редакционная коллегия:

Заместитель главного редактора:

О.Д. Гавриленко, канд. геол.-мин. н.

Ответственный секретарь – О.Н. Николаенко

Члены коллегии:

Абрахам Атта Огву, профессор (Великобритания)

Д.Л. Алонцева, к.ф-м н., профессор (Казахстан)

Ю.В. Баталов, д.э.н., профессор (Казахстан)

Бешо Масахико, Dr.PhD, профессор (Япония)

Е.В. Блиная, к.т.н., доцент (Казахстан)

Ю.А. Веригин, д.т.н., профессор (Казахстан)

М.В. Дудкин, д.т.н., профессор (Казахстан)

Б.А. Дьячков, д.г.-м.н., профессор (Казахстан)

Н.К. Ердыбаева, д.ф.-м.н. (Казахстан)

Т.Т. Ипалаков, д.т.н., профессор (Казахстан)

В.А. Кескинов, к.т.н., доцент (Россия)

Е.А. Колос, д.э.н., доцент (Казахстан)

В.П. Колпакова, д.т.н., доцент (Казахстан)

К.К. Комбаев, Dr.PhD (Казахстан)

Н.А. Куленова, к.т.н., асс. профессор (Казахстан)

Г.В. Кустарев, к.т.н., профессор (Россия)

С.В. Мамяченков, д.т.н., профессор (Россия)

О.А. Манцуров, полковник (Казахстан)

М.А. Мизерная, к.г.-м.н., доцент (Казахстан)

С.И. Миргородский, к.т.н., доцент (Казахстан)

М. Млынчак, Dr. hab, профессор (Польша)

Ж.С. Оналбаева, Dr.PhD (Казахстан)

С.В. Плотников, д.ф.-м.н., профессор (Казахстан)

А.Д. Погребняк, д.ф.-м.н., профессор (Украина)

Н.В. Прохоренкова, Dr.PhD (Казахстан)

М.А. Саденова, к.х.н., доцент (Казахстан)

Я. Стрычек, Dr. hab, профессор (Польша)

Б.В. Сырнев, д.т.н., профессор (Казахстан)

З.К. Тунгушбаева, к.т.н. (Казахстан)

Г.К. Уазырханова, Dr.PhD (Казахстан)

Н.А. Чарыков, д.х.н., профессор (Россия)

В.Ю. Чернавин, к.т.н., профессор (Казахстан)

Ю.Н. Шапошник, д.т.н., профессор (Россия)

ISSN 1561-4212

© Восточно-Казахстанский
технический университет
им. Д. Серикбаева,
2020



МРНТИ 87.15.15

Д.А. Асанов¹, В.В. Запасный¹, М.Е. Еркинбеков², О.А. Ткаченко³, Г.Р. Маратова¹,
Г.Н. Садуакасова¹

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

²Филиал РГП «Казгидромет» по Восточно-Казахстанской области, г. Усть-Каменогорск

³ТОО «Лаборатория-Атмосфера», г. Усть-Каменогорск

ПОИСК ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ СЕРОВОДОРОДА В АТМОСФЕРУ В УСТЬ-КАМЕНОГОРСКЕ. СПОСОБЫ ИХ КОНТРОЛЯ

Несмотря на токсические свойства сероводорода порог обнаружения запаха составляет $0,0002 \div 0,002 \text{ мг/м}^3$, при этом по литературным данным сероводород может оставаться в атмосфере до 42 дней, в зависимости от климатических условий. Городская система мониторинга часто выдает высокие уровни загрязнения атмосферного воздуха в г. Усть-Каменогорске сероводородом: за 1 полугодие 2020 года средняя концентрация составила $0,003 \text{ мг/м}^3$ (максимальное зафиксированное значение $0,164 \text{ мг/м}^3$); за 2019 год – $0,002 \text{ мг/м}^3$ (максимальное значение – $0,185 \text{ мг/м}^3$). Результаты измерений сероводорода в дымовых газах бытовых теплогенераторов показали концентрации в пределах $0,03 \div 0,094 \text{ мг/м}^3$. Будущие исследования должны позволить уточнить истинный уровень эмиссий при различных технологических процессах.

Күкіртті сутектің уытты қасиеттеріне қарамастан, иісті анықтау шегі $0,0002 \div 0,002 \text{ мг/м}^3$ құрайды, ал әдебиет деректері бойынша күкіртті сутек климаттық жағдайларға байланысты атмосферада 42 күнге дейін сақталуы мүмкін. Өскемен қаласының мониторинг жүйесі атмосфералық ауаның күкіртті сутегімен ластануын жиі көрсетеді: 2020 жылдың 1 жартыжылдығында орташа концентрация $0,003 \text{ мг/м}^3$ құрады (тіркелген максималды мән – $0,164 \text{ мг/м}^3$); 2019 жылы – сәйкесінше $0,002 \text{ мг/м}^3$ (максималды мән – $0,185 \text{ мг/м}^3$). Тұрмыстық жылу генераторларының түтін газдарындағы күкіртті сутекті өлшеу нәтижелері $0,03 \div 0,094 \text{ мг/м}^3$ шоғырлануын көрсетті. Болашақ зерттеулер әртүрлі технологиялық процестерден шығарындылардың нақты деңгейін нақтылауға мүмкіндік беруі керек.

Despite toxic properties of hydrogen sulfide the odor detection threshold is $0,0002 \div 0,002 \text{ mg/m}^3$, while according to the literature data, hydrogen sulfide can remain in the atmosphere for up to 42 days, depending on climatic conditions. The city monitoring system often gives high levels of atmospheric air pollution in Ust-Kamenogorsk city with hydrogen sulfide, the average concentration for the 1st half of 2020 was $0,003 \text{ mg/m}^3$ (the maximum recorded value is $0,164 \text{ mg/m}^3$); for 2019 – $0,002$ (average annual) and $0,185 \text{ mg/m}^3$ (maximum), respectively. The results of measurements of hydrogen sulfide in the flue gases of household heat generators showed concentrations in the range of $0,03 \div 0,094 \text{ mg/m}^3$. Future research should make it possible to clarify the true level of emissions from various technological processes.

Ключевые слова: сероводород, мониторинг, загрязнение атмосферного воздуха, предельно-допустимая концентрация.

Введение. Сероводород очень токсичный бесцветный газ с запахом тухлых яиц. Присутствует в системах канализации, на станциях и установках очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод. По оценкам ВОЗ ежегодно в мире из всех источников на суше выбрасывается сероводорода порядка 53-100 млн. тонн, а океаны поставляют примерно 27-150 млн. тонн [1].

Фоновые концентрации сероводорода в воздухе обычно находятся в диапазоне от $0,00015-0,00046 \text{ мг/м}^3$, концентрации в городских районах могут достигать $0,00141 \text{ мг/м}^3$ [2]. Несмотря на нестабильность сероводорода в атмосферном воздухе, исследования показывают возможность его скопления в замкнутых пространствах. Концентрация сероводорода вблизи животноводческих ферм и птицефабрик может достигать $0,022 \text{ мг/м}^3$ [3]. Оценка выбросов сероводорода над водохранилищем Мунья в Колумбии (приемник хозяйственных сточных вод г. Боготы) показала концентрации над водопропускной трубой от $12,3$ до $24,5 \text{ мг/м}^3$ [4].

Для сероводорода установлены следующие стандарты качества содержания в атмосферном воздухе: максимально-разовая в Казахстане [5], России [6], Белоруссии [7] – 0,008 мг/м³, США – 0,002 мг/м³ [8].

Сероводород является одорантом, порог обнаружения запаха которого в чистом виде составляет 0,0002÷0,002 мг/м³ [9]. Предельная концентрация, которой может подвергаться работник за 8-часовой рабочий день составляет 7 мг/м³ [10], в Казахстане этот показатель составляет 10 мг/м³ [5]. Сероводород остается в атмосфере примерно 1-42 дня, в зависимости от сезона, далее он окисляется до диоксида серы или сульфатов в воздухе [11].

При концентрациях сероводорода до 14 мг/м³ возникает незначительное раздражение глаз и дыхательных путей, а при концентрациях более 140 мг/м³ поражается центральная нервная система, паралич дыхательного центра, что может привести к быстрой смерти [12].

В промышленности традиционно выделение сероводорода в атмосферу происходит при очистке нефти, природного и коксового газа [13]. Возможно выделение сероводорода при охлаждении водой раскаленных серосодержащих металлов, шлаков и других зернистых материалов [2], при щелочном выщелачивании медных концентратов [14]. Российскими учеными в воздухе над Комсомольскими сульфидными хвостохранилищами определены значительные концентрации различных соединений серы (продуктов микробиологической активности, происходящей в среде, обогащенной сульфатами) [15].

Приведенные данные обосновывают возможность высокого загрязнения атмосферного воздуха городов, поэтому и поиск источников выбросов сероводорода является актуальной проблемой.

Метод исследования

В последние годы на территориях промышленных центров Восточно-Казахстанской, Павлодарской и Карагандинской областей РГП «Казгидромет» установлены автоматические станции контроля атмосферного воздуха японского производства «Horiga», в комплектацию которых входят датчики APSA-370/CU-1 на определение сероводорода. Измерения производятся каждые 20 минут круглосуточно без выходных. Результаты публикуются в открытом доступе на сайте РГП «Казгидромет».

Теперь в населенных пунктах, где они эксплуатируются, в атмосфере обнаруживается сероводород, периодически превышающий максимально-допустимую концентрацию. Максимальные значения сероводорода в атмосферном воздухе городов Казахстана в 2019 году приведены в табл. 1.

Таблица 1

Максимальные значения сероводорода в атмосферном воздухе городов Казахстана в 2019 году [16]

Наименование города	Наименование вещества	Концентрация, мг/м ³	Преобладающая промышленность
Актобе	Сероводород	0,1667	Черная металлургия, нефтяная промышленность
Атырау	Сероводород	1,424	Нефтепереработка
Усть-Каменогорск	Сероводород	0,1850	Цветная металлургия / угольная энергетика
Темиртау	Сероводород	0,1102	Черная металлургия
Примечание: максимально-разовая ПДК для сероводорода в Казахстане принята 0,008 мг/м ³			

Общие фактические выбросы сероводорода по Республике Казахстан незначительны, за 2013-2018 годы в среднем выбрасывалось по 2500 т/год [17] (рис. 1).

В городах Атырау, Актобе и Темиртау значительные источники выбросов сероводорода имеются согласно производственным технологическим процессам, в г. Усть-Каменогорске такие источники отсутствуют. После частых фиксаций на автоматизированных постах мониторинга высоких значений сероводорода в атмосферном воздухе в г. Усть-Каменогорске с 2017 года проводятся выборочные инструментальные измерения переносным газоанализатором ГАНК-4 (Россия) и флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «ФЛЮОРАТ-02-3М» [18]. Для

проверки были выбраны следующие возможные источники выбросов: домохозяйства с печным отоплением, автомобильный транспорт, площадки сбора бытовых отходов, автозаправочные станции. Результаты представлены в табл. 2.

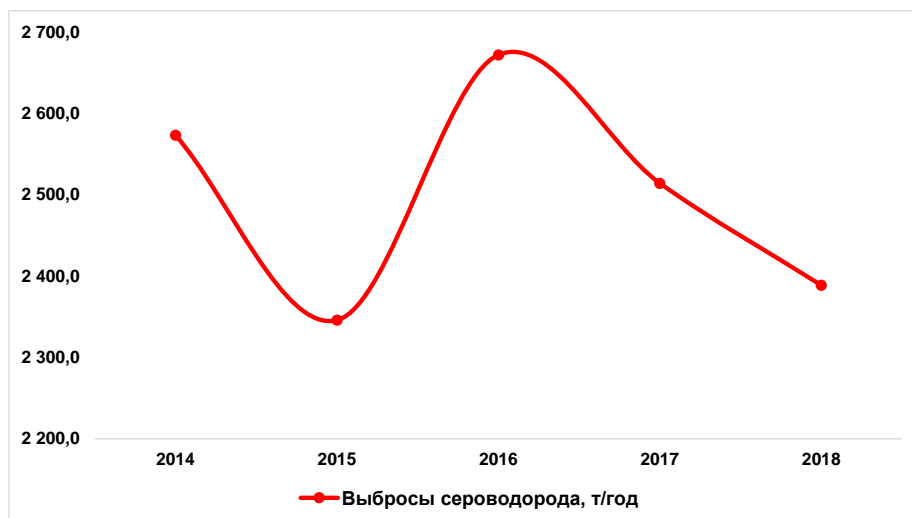


Рисунок 1 – Количество выбросов сероводорода по Казахстану

Таблица 2

Результаты измерения концентрации сероводорода на контрольных точках

Объект измерения	Вид топлива	Концентрация сероводорода		Метод измерения
		мг/м ³	доли ПДКм.р.	
Жилой дом по ул. Шелехова, 94	Каражыринский уголь	0,094	11,8	Прямой
Жилой дом по ул. Багратион, 9	Каражыринский уголь	0,047	5,9	Прямой
Магазин по ул. Пушкина, 22	Каражыринский уголь	0,051	6,4	Прямой
Жилой дом по ул. Линейная, 26	Каражыринский уголь	0,037	4,6	Прямой
Жилой дом по ул. Полтавская, 5	Каражыринский уголь	0,065	8,1	Прямой
Жилой дом по ул. Кутузова, 28	Каражыринский уголь	0,05	6,3	Прямой
Жилой дом по ул. Кутузова, 2	Каражыринский уголь	0,03	3,8	Прямой
Жилой дом по пер. Вологодский, 16	Каражыринский уголь	0,065	8,1	Прямой
Дымовые газы автобуса ПАЗ	Дизельное топливо	0,157	19,6	Прямой
Дымовые газы автомобиля «Нисан»	Бензин	0,151	18,9	Прямой
Дымовые газы автомобиля «ГАЗель»	Бензин	0,003	0,4	Прямой
АЗС по ул. Отдельная, 121 м	Бензин и дизельное топливо	0,004	0,5	Прямой
АЗС по ул. Железнодорожная, 94/1	Бензин и дизельное топливо	0,004	0,5	Прямой
Мусорные баки по ул. Кабанбай Батыра, 76	-	0,051	6,4	Прямой
Мусорные баки по ул. Л. Толстого, 18	-	0,002	0,3	Прямой
Городская свалка бытовых отходов	-	0,002	0,3	Прямой
Свиноферма	-	0,003	0,4	Прямой
Канализационный колодец возле сауны по ул. Алтайская, 34а	-	0,004	0,5	Прямой
Канализационный колодец по пр. Шакарима, 5	-	0,003	0,4	Прямой

Содержание сероводорода в дымовых газах бытовых теплогенераторов определялось газоанализатором ГАНК-4, во всех случаях измерений показатели превышали ПДКм.р. в среднем в 6,9 раз. В двух случаях из четырех содержание сероводорода в дымовых газах автомобилей значительно превышали ПДКм.р., в остальных – 0,5 долей ПДКм.р. Следовательно, результаты нуждаются в проверке, возможно методом газовой хроматографии.

В остальных случаях (территория АЗС, мусорных площадок и канализационных колодцев) показатели сероводорода ниже ПДКм.р.

Также были выполнены сличительные измерения непосредственно возле автоматизированных постов мониторинга по ул. Л. Толстого, 18 и пр. Шакарима, 79 (рис. 2).

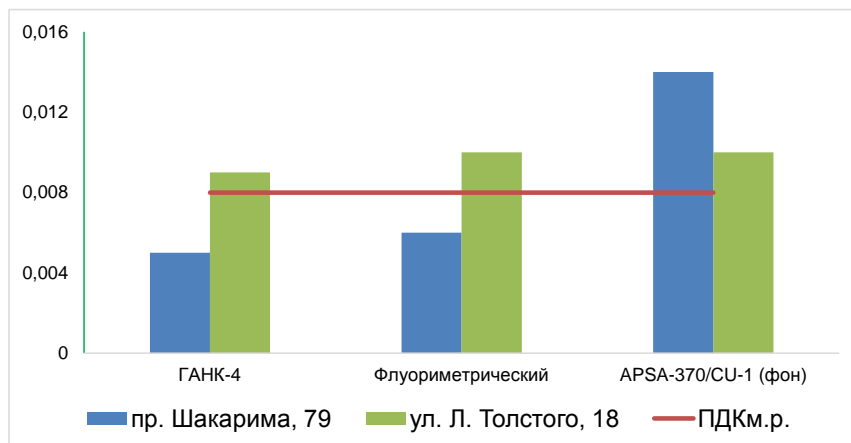


Рисунок 2 – Результаты сличительных измерений концентрации сероводорода

Содержание сероводорода в атмосферном воздухе г. Усть-Каменогорска определялось тремя различными методами измерений, при этом значения возле поста мониторинга по ул. Л. Толстого, 18 превышали ПДКм.р. на 20 %, возле поста мониторинга по пр. Шакарима, 79 – ниже фоновых показателей на 57 %. Продолжительные сличительные измерения могут дать более полные данные по достоверности различных методов измерений сероводорода в атмосферном воздухе.

Обсуждение. Автоматизированный мониторинг атмосферного воздуха дает полные и непрерывные данные о состоянии атмосферного воздуха, позволяет инспектирующим органам своевременно реагировать в случае высокого и экстремально-высокого загрязнения.

Включение сероводорода в перечень контролируемых ингредиентов в атмосферном воздухе обнаружило повышенную загрязненность атмосферного воздуха во многих городах Казахстана. Токсические свойства сероводорода в мире хорошо изучены, встречаются примеры массовой гибели людей в результате острого отравления [19]. Также сероводород активно выделяется из полигонов бытовых отходов, согласно [20] уровень выбросов на поверхности рабочих участков составлял до 0,35 мг/м³×ч. Получение таких точных данных может дать ответ, как полигоны отходов влияют на качество атмосферного воздуха городов. Измерения сероводорода на очистных сооружениях в Бразилии показали концентрации до 0,032 мг/м³, при рекомендациях ВОЗ 0,01 мг/м³ [21]. Таким образом, данные нормативов выбросов полигона отходов и городских очистных сооружений могут быть неточными.

В Казахстане нормирование эмиссий производится расчетными методами на основе утвержденных коэффициентов. При этом они зачастую повторяют данные методик Советской эпохи. При актуализации методических данных требуется их проверка на основе современных экспериментов, международного опыта. В результате получают заниженные данные. Например, норматив выброса сероводорода для Усть-Каменогорского городского полигона бытовых отходов составляет всего 0,67 т/год [22] при площади полигона 22,5 га. Иловый осадок Усть-Каменогорских очистных сооружений хозяйственных сточных вод в количестве около 7 млн. т/год размещается на участке площадью 1,25 га, нормативный выброс сероводорода при этом всего 1,024 т/год [23].

Международный опыт показывает возможность значительных эмиссий сероводорода при очистке сточных вод и обращении с бытовыми отходами. Глубокие исследования позволят показать реальные данные и разработать соответствующие мероприятия.

При этом достоверные показатели выбросов сероводорода могут послужить дополнительным источником поступлений в бюджет: на 2020 год ставка платы за выброс 1 тонны сероводорода в Казахстане составляет 344 472 тенге (статья 576 [24]), что дороже в 6,2 раза ставки диоксида серы.

Уполномоченными государственными органами в Казахстане уже предпринимались неоднократные попытки установить причину высокого загрязнения атмосферного воздуха ряда городов. Специалистами департамента экологии по Павлодарской области в 2016 году проводились инструментальные измерения дымовых газов банного комплекса в г. Павлодар. В качестве топлива сжигался Каражыринский уголь. Концентрация превысила ПДКм.р. для сероводорода в 20 раз. Аналогичные измерения проводились на источниках выбросов Казахстанского электролизного завода и Балхашского медеплавильного завода. По данным департаментов экологии сероводород в дымовых газах присутствовал, были выставлены официальные претензии. Затем предприятия в судебном порядке добились отмены предписаний государственных органов. Основная причина – допущенные технические ошибки при проведении замеров и недостаточная чувствительность применявшихся газоанализаторов. Аналогичный спор рассматривался по маслозаводу в г. Усть-Каменогорске, где также государственным органом были определены концентрации сероводорода в дымовых газах котельной. Дальнейшие сличительные измерения показали их отсутствие [25].

Исследования по определению возможных выбросов сероводорода очень важны и позволят в будущем решить проблемы загрязнения атмосферного воздуха ряда промышленных городов Казахстана.

Заключение. Сероводород – очень токсичный газ, различные его концентрации в атмосферном воздухе могут вызывать у людей от легкого расстройства до острого отравления со смертельным исходом. В научной литературе очень много исследований на предмет выбросов сероводорода от очистных сооружений хозяйственных сточных вод, животноводческих ферм и объектов обращения с бытовыми отходами, геотермальных электростанций. При этом очень мало данных о промышленных выбросах – производство металлов, сжигание твердого топлива. Выходит, что основные выбросы происходят в нерегулируемой сфере, ответственность за высокое и экстремально высокое загрязнение атмосферного воздуха отсутствует.

Достоверность показаний автоматического датчика APSA-370/CU-1 для определения сероводорода подтверждается результатами сличительных измерений флуориметрическим методом и переносным газоанализатором ГАНК-4. Сжигание угля может создавать значительное загрязнение атмосферного воздуха сероводородом, инструментальные измерения показали концентрации в пределах $0,03 \pm 0,094$ мг/м³. Данные по содержанию сероводорода в дымовых газах автомобилей нуждаются в проверке из-за малого количества измерений. При этом все 4 вида транспорта показали наличие сероводорода в дымовых газах.

Требуется проведение более широких исследований по определению истинных значений выбросов сероводорода от промышленных предприятий, автотранспорта, полигонов бытовых отходов и городских очистных сооружений.

Список литературы

1. WHO: Hydrogen Sulfide: human health aspects. – Geneva, 2003. – 37 с. – <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42638/9241530537.pdf>.
2. Samantha L. Malone Rubright, Linda L. Pearce, Jim Peterson. Environmental toxicology of hydrogen sulfide // Nitric Oxide. – 2017. – № 71. – С. 1-13. – <https://doi.org/10.1016/j.niox.2017.09.011>.
3. Jihoon Park, Taesun Kang, Yong Heo, Kiyoung Lee, Kyungran Kim, Kyungsuk Lee, Chungsik, Yoon. Evaluation of Short-Term Exposure Levels on Ammonia and Hydrogen Sulfide During Manure-Handling Processes at Livestock Farms // Safety and Health at Work. – 2020. – № 11. – С. 109-117. – <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2019.12.007>.
4. C. Moreno-Silva, D. C. Calvo, N. Torres, L. Ayala, M. Gaitán, L. González, P. Rincón, M. Rodríguez Susa. Hydrogen sulphide emissions and dispersion modelling from a wastewater reservoir using flux chamber measurements and AERMOD® simulations // Atmospheric Environment. – 2020. – <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117263>.

5. Об утверждении Гигиенических нормативов к атмосферному воздуху в городских и сельских населенных пунктах: приказ Министра национальной экономики Республики Казахстан № 168 от 28.02.2015 г. – <http://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500011036>.
6. Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений: постановление главного государственного санитарного врача Российской Федерации № 165 от 22.12.2017 г. – <http://docs.cntd.ru/document/556185926>.
7. Об утверждении и ведении в действие нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и ориентировочно безопасных уровней воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест отдыха населения: постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 113 от 08.11.2016 г. – <https://tnpa.by/#!/FileText/492276/364939>.
8. U.S. Environmental Protection Agency: Hydrogen sulfide; 7783-06-4, 2003. – 17 с. – https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0061_summary.pdf#nameddest=rfc
9. WHO: Air Quality Guidelines for Europe - Second Edition. Chapter 6.6 Hydrogen sulfide, 2000. – 288 с. – <http://helid.digicollection.org/en/d/Js13481e/4.2.6.html>.
10. SCOEL: Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for Hydrogen Sulphide, 2007. – 17 с. – <https://www.semanticscholar.org/paper/Recommendation-from-the-Scientific-Committee-on-for/dcfa6134572558853a4cece74cf5ea76515b8ca9#paper-header>.
11. Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Public Health Statement: Hydrogen Sulfide, 2016. – 7 с. – <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp114-c1-b.pdf>.
12. National Research Council (US) Committee on Acute Exposure Guideline Levels: Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 9. – Washington (DC), 2010. – <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK208170/>.
13. Haikui Zou, Miaopeng Sheng, Xiaofei Sun, Zihao Ding, Moses Arowo, Yong Luo, Liangliang Zhang, Guangwen Chu, Jian-Feng Chen, Baochang Sun. Removal of hydrogen sulfide from coke oven gas by catalytic oxidative absorption in a rotating packed bed // *Fuel*. – 2017. – № 204 (15). – С. 47-53. – <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.05.017>.
14. Gonzalo Montes-Atenas, Rodrigo Ladrón de Guevara, Katherin eLizama-Allende, F. Valenzuela. Can hydrogen sulphide gas be produced during alkaline leach of enargitic copper concentrates? // *Hydrometallurgy*. – 2019. – № 184. – С. 109-115. – <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2018.12.025>.
15. Bortnikova S.B., Yurkevich N.V., Abrosimova N.A., Devyatova A.Yu., Edelev A.V., Makas A.L., Troshkov M.L. Assessment of emissions of trace elements and sulfur gases from sulfide tailings // *Journal of Geochemical Exploration*. – 2018. – № 186. – С. 256-269. – <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.12.008>.
16. О состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2019 год: информационный бюллетень / Департамент экологического мониторинга РГП «Казгидромет». – Нур-Султан, 2020. – 409 с. – <https://www.kazhydromet.kz/ecology/informacionnye-byulleteni-o-sostoyanii-okruzhayushchey-sredy-respubliki-kazahstan/2019>.
17. «Охрана окружающей среды и устойчивое развитие Казахстана. 2014-2018 гг.: статистический сборник / Агентство статистики Республики Казахстан. – Нур-Султан, 2019. – 236 с. – <https://stat.gov.kz/edition/publication/collection>.
18. Методы контроля. Химические факторы. Измерение массовой концентрации сероводорода флуориметрическим методом в воздухе рабочей зоны и атмосферном воздухе населенных мест: МУК 4.1.1269-03. – <http://docs.cntd.ru/document/1200034297>.
19. Nunziata Barbera, Angelo Montana, Francesca Indorato, Nadia Arbouche, Guido Romano. Domino effect: An unusual case of six fatal hydrogen sulfide poisonings in quick succession // *Forensic Science International*. – 2016. – № 260. – С. 7-10. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.01.021>.
20. Dongbei Yue, Bing Han, Yue Sun, Ting Yang. Sulfide emissions from different areas of a municipal solid waste landfill in China // *Waste Management*. – 2014. – № 34 (6). – С. 1041-1044. – <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.07.020>.
21. Ana Flavia Locateli Godoi, Anderson Marlon Grasel, Gabriela Polezer, Andrew Brown, Sanja Potgieter-Vermaak, Débora Camargo Scremim, Carlos I.Yamamoto, Ricardo Henrique Moreton Godoi. Human exposure to hydrogen sulphide concentrations near wastewater treatment plants // *Science of The Total Environment*. – 2018. – № 610-611. – С. 583-590. – <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.209>.
22. Заключение государственной экологической экспертизы на проект нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ в атмосферный воздух ТОО «Оскемен-спецкоммунтранс» № KZ76VCY00021026 от 27.07.2015 года.

23. Заключение государственной экологической экспертизы на «Проект нормативов предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (ПДВ) для ГКП на ПХВ «Өскемен Водоканал» акимата города Усть-Каменогорск Восточно-Казахстанской области» № KZ14VCY00120888 от 13.09.2018 года.
24. О налогах и других обязательных платежах в бюджет (Налоговый кодекс)» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 02.07.2020 г.): Кодекс Республики Казахстан № 120-VI от 25.12.2017 года. – <http://adilet.zan.kz/rus/docs/K1700000120>.
25. Запасный В.В., Асанов Д.А., Ткаченко О.А., Запасный Е.В., Садуакасова Г.Н. Исследования по определению наличия сероводорода в дымовых газах от котлов, сжигающих лузгу подсолнечника на маслозаводе АО «Май» // Вестник ВКГТУ. – 2019. – № 3 (85). – С. 98-102.

Получено 21.08.2020

MFTAA 39.19.31

Н.Қ. Қабдрахманова¹, М.Н. Мусабаева¹, Н.Ж. Женсаикбаева², А.С. Кайсарова²

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

²С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ.

ЖОҒАРҒЫ ЕРТИС АЛАБЫНЫҢ ГЕОЖҮЙЕЛЕРІН АНЫҚТАУ ЖӘНЕ КАРТАҒА ТҮСІРУ ТҰЖЫРЫМДАМАСЫ, ОЛАРДЫҢ ЖҮЙЕЛІК ҚҰРЫЛЫМЫ

Жоғарғы Ертіс өзенінің бассейндері бойынша эмпирикалық ақпаратты талдау және синтездеу негізінде геоөлшеу және ландшафтық карталау бірлігі анықталды. Мақалада геожүйелерді картаға түсіру және анықтау кезінде бассейндік тәсілдің теориялық тұжырымдамалары қолданылады.

На основе анализа и синтеза эмпирической информации по бассейнам реки Верхний Ертис выявлена единица геоизмерения и ландшафтного картирования. В статье используются теоретические концепции бассейнового подхода при картировании и определении геосистем.

Based on the analysis and synthesis of empirical information on the Upper Ertis river basins, a unit of geo-measurement and landscape mapping was identified. This article uses the theoretical concept of the basin approach in the mapping and identification of geosystems.

Түйін сөздер: ландшафт, геожүйе, макрогеожүйе, алабтық тәсіл, су ресурстар.

Республика аумағындағы қазіргі өзен алаптары желісінің динамикасының жоғарылығы, гео-жүйелердің тез түр өзгертуіне мүмкіндік беретіндіктен шаруашылық игерумен байланысты практикалық шаралар жасауды қиындатады, бұл зерттеудің өзектілігін көрсетеді. Антропогендік әрекеттерге байланысты геожүйелердің құрылымы тез өзгереді. Жер үсті ағындысының үздіксіз өзгеріп отыруы, ежелгі арналардың өшуі, жаңа салалардың қалыптасуы геожүйелердің өзгеше құрылымын түзеді. А.Г. Исаченко мен В.А. Николаев ұсынған құрылымдық-генетикалық классификация таулы аумақтардың ландшафттарын жүйелеуге ерекше қызығушылық тудырады [1].

Өзен алаптарының ландшафттары – бұл зат пен энергияның тік және көлденең тоқтарының бірлігімен қосылған және бір литогенез жағдайында, географиялық ағынның бір бағытында қалыптасатын парагенетикалық табиғи-аумақтық кешендер. Осындай кешендердің бірі – Ертіс өзенінің алабы (1-сурет).

Республика аумағындағы Ертіс өзенінің геожүйесі – Карск-Обь мегагеожүйесінің құрамдас бөлігі болып табылады, олар осы өзеннің салаларының алап аумақтарын біріктіреді, олардың тұрақты немесе уақытша ағыны Обь өзеніне қарай бағытталған [2]. Олар – Ертіс, Ертіс-Шүлбі, Ертіс-Бұқтырма, Ертіс-Зайсан.

Карск-Обь макрогеожүйесі:

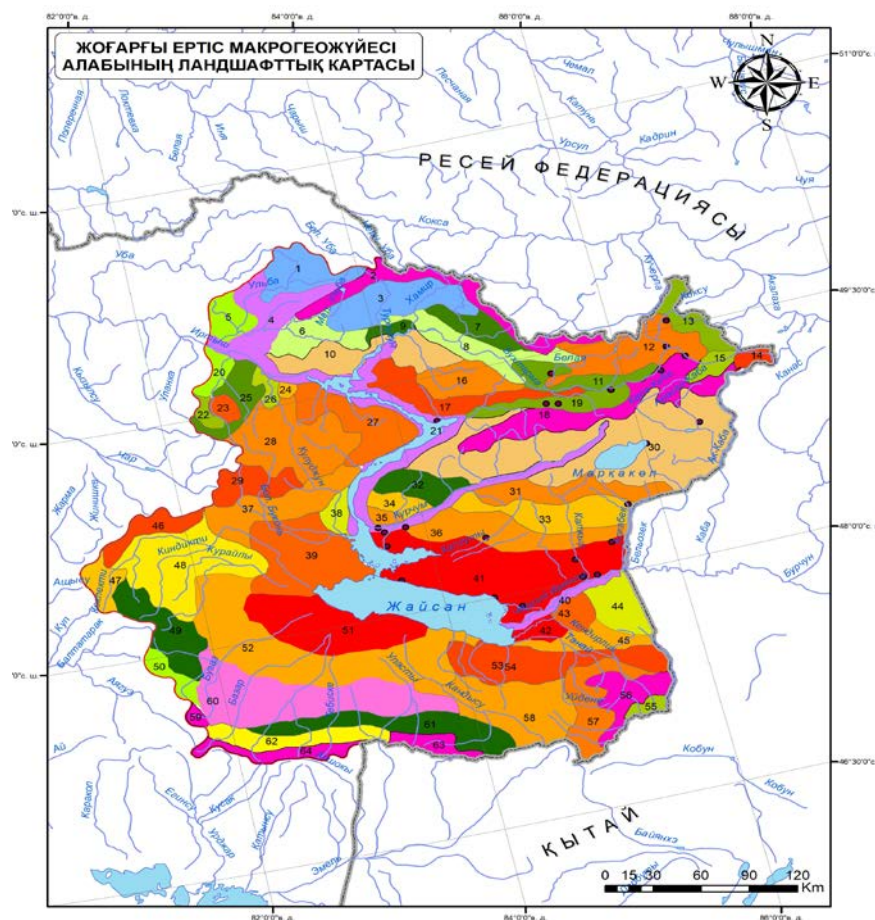
Жоғарғы Ертіс:

1. Кара-Ертіс – Зайсан геожүйе асты:

1. Қалғұты-Тақыр субгеожүйесі.

2. Шаған-Обь Жарма субгеожүйесі.

3. Шорға-Костин субгеожүйесі.
 4. Жұзағаш субгеожүйесі.
- II. Ертіс-Бұқтырма геожүйе асты:
1. Бұқтырма субгеожүйесі.
 2. Нарын субгеожүйесі.
 3. Күршім субгеожүйесі.
 4. Марқакөл-Қарақоба субгеожүйесі.
- III. Ертіс-Шүлбі геожүйе асты:
1. Шүлбі субгеожүйесі.
 2. Уба субгеожүйесі.
 3. Үлбі субгеожүйесі.
 4. Қызылсу-Таинты субгеожүйесі.



1-сурет – Жоғарғы Ертіс макрогеожүйесі алабының ландшафттық картасы

Жоғарғы Ертіс макрогеожүйесінің оңтүстігіндегі су айрықтарын аз неотектоникалық қозғалыстар амплитудасы бар Тарбағатай таулы массивтері алып жатыр. Оңтүстік-батыс су айдындары Шыңғыстау (Едрей, Аркат, Мүрджік және т.б.) тауларында орналасқан. Солтүстік-шығыс бөлігі Батыс Сібір ойпатының шетінде – Құлынды жазығында орналасқан (2-сурет).

Аймақтың оңтүстік шеттерінің биік таулы қатты бөлшектелген бедері біртіндеп Ертістің орта ағысының толқынды-төбешікті жазықтарына өтеді. Абсолюттік белгілер 235-тен (Уба өзенінің сағасы) 2000 м-ге дейін өзгереді [3].

Ертіс макрогеожүйесі үшін әртүрлі топырақ-климаттық жағдайлар тән. Өте құрғақ солтүстік желдері және эфемерлік шөлді өсімдіктер үстемдігі бар.



2-сурет – Жоғарғы Ертіс макрогеожүйесінің геожүйе асты картасы

I. Қара Ертіс-Зайсан субгеожүйесі жас геологиялық құрылым болып табылатын ірі Жайсан көлін қалыптастырады. Марқакөл көлі теңіз деңгейінен 1449,3 м биіктікте орналасқан. Марқакөл-Қарақаба субгеожүйелері қатты бөлшектенген жер бедері жағдайында қалыптасқан. Көл акваториясына қарай қараған орта тау беткейлері тау-тундралық, тау-орман және тау-шалғынды-дала табиғи кешендерімен қамтылған. Геожүйеде өте жоғары ылғалдану жағдайында жұмыс істейді. 27 шағын өзендермен (Тополевка, Қарабұлақ, Матабай және т.б.) құрылған геожүйелер тұрақты сипатқа ие [4].

Ертіс-Зайсанның табиғи кешендері бір-бірінен қазіргі заманғы физикалық-географиялық үрдістермен күрт ерекшеленеді, бұл бүкіл географиялық ағынның қалыптасуының әртүрлі жағдайларымен негізделген, оның негізінде жер үсті және жер асты ағындары жатыр.

II. Ертіс-Бұқтырма субгеожүйесінің солтүстік-шығыс су айрықтары Көксу мен Қызылқарағай жотасынан тұрады, олардың морфокұрылымы альпілік белгілерге жақын. Көксу жотасының оңтүстік баурайларынан Ертіс, Уба, Үлбі өзендері бастауын алады. Қызылқарағай жотасының және Үлбі жотасының оңтүстік баурайларының бойымен Бұқтырма және Нарын өзендері ағады, олардың бассейндері Ертіс-Бұқтырма жүйесін қалыптастырады. Ертіс-Бұқтырма субгеожүйесінде тұзданбаған топырақ басым. Сортандар тұзды көлдердің жағалауларында, ал шабындық түрлері – кейбір өзендердің алқабында кездеседі [5]. Осы субгеожүйедегі геохимиялық ағынның оңтүстіктен солтүстікке қарай бағыты және осы бағыттағы тұздалған топырақ саны біртіндеп азаяды. Бұл жағдай ылғалдану коэффициентінің өзгеруімен, ең алдымен буланудың азаюымен түсіндіріледі. Бұл құбылыс тұзды белдеудің инверсиясы деп аталады. Топырақтың тұздануының негізгі түрі – сульфатты-натрийлі. Тұздалған топырақ ауданының ұлғаю үрдісі уытты шегіне өтпейді.

III. Ертіс-Шүлбі геожүйе астына төрт субгеожүйе (Шүлбі, Уба, Үлбі, Қызылсу-Таинты) кіреді. Осы субгеожүйелердің әрқайсысында техногендік ластанудың бірыңғай факторлары және

экологиялық қауіптіліктің бірдей жағдайлары бар. Дегенмен, жергілікті сипатқа ие физикалық-географиялық сипаты жағымсыз экологиялық жағдайлардың әртүрлі дәрежесіне себепші болады.

Бұл геожүйенің табиғи ортасына техногендік және антропогендік әсер ету көздері түсті металлургия, қайта өңдеу өнеркәсібі кәсіпорындары, коммуналдық кәсіпорындар, автомобиль және темір жол көлігі болып табылады.

Өзен ағындысының қайта үлестірілуінің басты себебі тек су мелиоративтік жұмыстарды антропогендік реттеу ғана емес. Соңғы жылдары су тұтыну параметрлерінің өзгеруі, климаттың ғаламдық жылынуына байланысты сулы жылдардың келуі, және т.б. бірте-бірте үлкен маңызға ие болуда. Ағындының органикалық заттармен, ауыр металдармен және пестицидтермен ластану үдерістері биоөнімділікке кері әсерін тигізуде. Алаптық аумақтардың геожүйелік ұйымдас-тырылуын зерттеу біртұтас табиғи кешен негізінде жүргізілді [6].

Орындалған зерттеулер Жоғарғы Ертіс өзені алабын зерттеуде геожүйелік алаптық көзқарас-тың теориялық тұжырымдамасын дамыту үшін негіз болып табылады. Өзен алаптарынан тұратын қазіргі замандық макрогеожүйелердің зерттелген аймақтары қазіргі кездегі гидрологиялық байқаулардың және олардың маусымдық өзгерістерінің кеңістіктік-уақыттық бөліктерінің локальдық және аймақтық белгілеріне ие. Аридті геожүйелерді зерттеудегі кешенді ландшафттық көзқарас және гидрологиялық географиялық әдістің рөлі жөніндегі жаңа танымдар негізінде автор геожүйелердің элементтеріне жасалатын антропогендік ықпалдың рауалы шектерін сандық тұрғыда бағалады.

Алаптық аумақтардың қазіргі замандық геожүйелерінің кеңістіктік және уақыттық заңдылық-тарын анықтауда және суреттеуде олардың тіршілігінің қарқындылық дәрежесін құрайтындардың негізінде іске асыру қажет.

Бастапқы мәліметтер мен көлемдерге сүйене есептелген геожүйелердің тіршілік қарқындылы-ғының дәрежесі жалпы қабылданған зоналық және бейзоналық белгілерге емес, жер үсті ағындысының сандық және сапалық көрсеткіштеріне тәуелді.

Ол табиғи ортаны зерттеудегі геожүйелік әдіс барысындағы жоғары таксономиялық бірлік болып табылады. Қазіргі замандық өзен алаптарында генетикалық құрылымы жаңа, көпшілігінің геоөлшемдері анықталды.

Әдебиеттер тізімі

1. Исаченко А.Г. Представление о геосистеме в современной физической географии // Изв. ВГО. – 1981. – №4. – Вып. 113. – С. 25-33.
2. Физическая география Республики Казахстан / Г.М. Джаналеева – Астана : Изд-во ЕНУ им. Л.Н. Гумилёва, 2010. – 590 с.
3. Баяндинова С.М. Теоретические предпосылки к изучению ландшафтов Восточного Казахстана. Материалы междунар. науч.-практ. конф. «IV Жандаевские чтения»: Проблемы экологической геоморфологии. – Алматы: 2007. – 264 с.
4. Кабдрахманова Н.К., Мусабаева М.Н. Структурный анализ ландшафтов бассейна верхней части реки Ертіс Материалы III-й МНПК, посвящённой 25-летию ТУВИКОПР СО РАН и 45-летию академической науки в ТУВЕ. – Кызыл: ТуВИКОПР СО РАН, 2019. – 410-417 с.
5. Е.В.Слепнева Теоретические и методологические аспекты изучения трансграничных геосистем Известия Иркутского государственного университета. 2016. Т. 16. Серия «Науки о Земле». – С. 101-115.
6. Джаналеева Г.М. Структурная организация геосистем речных бассейнов континентальных территорий. – Алматы: КазГУ, 1992. – 267 с.

Қабылданды 21.07.2020

MFTAA 31.15.30

Д.Б. Курмангалиев, С.А. Абдулина

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

ЭЛЕКТРОЛИТТИ-ПЛАЗМАЛЫҚ ТОТЫҚТЫРУДЫҢ ПАТЕНТ МАТЕРИАЛДАРЫНА ШОЛУ

Титан қорытпаларына плазмалық-электролиттік тотығу арқылы жабындар жасау технологиясы қарастырылды және жабындының қасиеттері бойынша биокерамикалық, қорғаныш, төзімді, каталитикалық болып жіктелді. Электролит құрамы, технологиялық параметрлер және алынған жабындардың қасиеттері келтірілген. ПЭТ жабындарының биоқабілеттілігін, сәнділігін, микроқаттылығын және коррозияға төзімділігін арттыру әдістері анықталған.

Рассмотрены технологии получения покрытий на титановых сплавах плазменным электролитическим окислением и классифицированы по свойствам покрытий: биокерамические, защитные, износостойкие, каталитические. Приведены составы электролитов, параметры процесса и свойства получаемых покрытий. Определены способы повышения биосовместимости, декоративности, микротвердости и коррозионной стойкости ПЭО-покрытий.

The technologies of applying coatings on titanium alloys by plasma-electrolytic oxidation is examined and classified according to the properties of coatings: bioceramic, protective, wear-resistant, catalytic. The compositions of electrolytes, the process parameters and properties of the producing coatings are given. The ways to improve the biocompatibility, decorative, microhardness and corrosion resistance of PEO coatings are defined.

Түйін сөздер: *титан қорытпалары, плазмалық-электролиттік тотықтыру (ПЭТ), микродоғалы тотықтыру (МДТ), биоүйлесімдік, коррозияға төзімді, үйкеліс коэффициенті, кеуектілік, бетінің кедір-бұдыры, коррозия тоғы, поляризацияға төзімділік.*

Материалдар қазіргі әлемде өте маңызды рөл атқарады. Оларды өңдеуге арналған жаңа материалдар мен технологияларды енгізу түрлі салалардың дамуына ықпал етеді. Айта кету керек, қазіргі уақытта экологиялық таза салаларды – «жасыл» технологияларды дамытуға ерекше көңіл бөлінеді [1].

Өз кезегінде, плазмалық-электролиттік (немесе микродоғалы) тотықтыру (ПЭТ, МДТ) экологиялық таза процестерге жатады, өйткені ол агрессивті емес компоненттердің концентрациясы төмен электролиттерде өңдеуге мүмкіндік береді және де тоңазытқыш жабдықтарын пайдаланудың және беткі қабатты алдын ала дайындаудың қажеті жоқ. Өңдеудің бұл түрі электрохимиялық процестерге жатады және кәдімгі анодтық тотығудан өнделетін бетте электр разрядтарының болуымен ерекшеленеді, бұл өз кезегінде нәтижесінде пайда болған оксид қаптамаларының құрылымы мен қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді. Сонымен қатар, процесс жоғары кернеулерде – 1000 В-қа дейін, ал көбінесе тұрақты емес, бірақ айнымалы және импульстік токтар қолданылады.

ПЭТ процесі вентильді металдар мен олардың қорытпаларына (алюминий, магний [2], титан, тантал, ниобий, цирконий және т.б.) қатысты неғұрлым толық зерттелген. ПЭТ процесі тозуға төзімді, коррозияға төзімді, жылуға төзімді, электр оқшаулағыш және сәндік сияқты ерекше қасиеттері бар көп функциялы жабынды алуға мүмкіндік береді. Сондықтан бұл жабындарды қолдану саласы өте кең: медицина, авиация, кеме, аспап жасау, автомобиль және басқа да салалар.

Бұл шолуда титан мен оның қорытпаларына плазмалық-электролиттік тотықтыру арқылы жабын алудың патенттік технологиялары қарастырылған. Әдістер алынған жабындардың қасиеттеріне байланысты жіктеледі, алайда бұл бөліну ерікті екенін атап өткен жөн, өйткені жабындар көбіне көп функциялы болып табылады.

Бірінші топқа биокерамикалық жабындарды өндіру технологиялары кіреді.

Титан мен оның қорытпалары олардың биоүйлесімді мен жоғары беріктігі арқасында медицинада кеңінен қолданылады, алайда, биоүйлесімділікті арттыру үшін титан материалына арнайы жабындар қажет. Бұл мақсаттарда ПЭТ әдісімен гидроксипатит жабындары алынады. Гидроксипатиттің $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})$ химиялық құрамы сүйек тінінің құрамына ұқсас, сондықтан сүйек тіндері имплантантпен күшті химиялық байланыс түзе алады және қабылданбауға себеп болмайды.

Күміс нанобөлшектері немесе күміс оксидін ерітіндіге қосқан кезде бактерияға қарсы қасиеттері бар жабындар алынады [3-6].

Shanghai Institute of Ceramics (Қытай) өнертабысында [3] ультрадыбыстың көмегімен титан имплантына жабын алу үшін ПЭТ қолданылады. Бұл әдіс Ca, P, Ag элементтерін қамтитын кеуекті бактерияға қарсы жабынды алынады, олар биологиялық белсенділік пен коррозияға төзімділікті арттырады. Алынған жабынның сипаттамасы: қалыңдығы 50-85 мкм, кеуек диаметрі 4-25 мкм, кеуектілігі 20-30 %, субстратқа жабысқақтық 23-40 МПа.

Жоғарыда айтылған Shanghai Institute of Ceramics (Қытай) тағы бір патенті магний қосылған нанокеуекті титан оксидінің қабатын алу әдісін сипаттайды, бұл материалдың биоүйлесімділігін едәуір арттырады. Келесі компоненттердің біреуінен немесе бірнешеуінен: кальций ацетаты, натрий/калий гидроксиді, фосфор/азот/сірке қышқылдарынан тұратын электролитке еритін магний тұзы (ацетат/хлорид/нитрат және т.б.) қосылады. Мұндай жабындарды қолдану ақуыздардың адсорбциясын және сүйек тіндерінің өсуін арттыруға мүмкіндік береді, имплантатпен берік байланыс түзеді, бұл пациенттердің оңалту мерзімін қысқартады. Алынған жабындының сипаттамасы: қалыңдығы 2-150 мкм, кеуек диаметрі 20 мкм-ден аз, құрамы анатаз немесе анатаз + рутил.

$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2/\text{ZrO}_2$ композициялық жабындыны дайындау Korea University Research and Business Foundation (Корея) сұрауында [8] сипатталған. Цирконий оксиді жабынның беріктігін арттыру үшін қосылады.

Dalian University of Technology (Қытай) әзірлеген технологияға сәйкес, натрий тетрабораты бар ерітіндіде ПЭТ нәтижесінде, биоматериал ретінде титан диоксидінің нанокеуекті пленкасы алынған [9]. Бұл электролитті және белгілі бір технологиялық режимді қолдану, керемет сулануға және бұзылуға төзімді жабынды алуға мүмкіндік береді. Құрылған титан диоксиді – рутил екендігі анықталды.

Екінші топқа ПЭТ әдісін қолдана отырып, қорғаныс, электр окшаулағыш және сәндік жабындар алу технологиялары кіреді.

South China University of Technology Университеті (Қытай) [10] жоғары температурада титан қорытпаларын тотығудан қорғауға арналған қара түсті жабындар шығару әдісін патенттеді. МДТ процесін 5-20 г/л тұздардан (фосфаттар, силикаттар, алюминаттар, сульфаттар), 5-30 г/л алюминий ұнтағынан және сирек жер элементтердің <15 г/лден тұратын электролитте, 300-600 В кернеуде және 5-30 мин ұзақтықта өткізеді. Түзілетін жабын қалыңдығы 2-300 мкм болатын кеуектілігі мен кедір-бұдырлығы аз, тамаша қорғаныс қасиеттеріне ие (750 °C дейін тотығудан қорғаныс), коррозияға және тозуға төзімділігі бар.

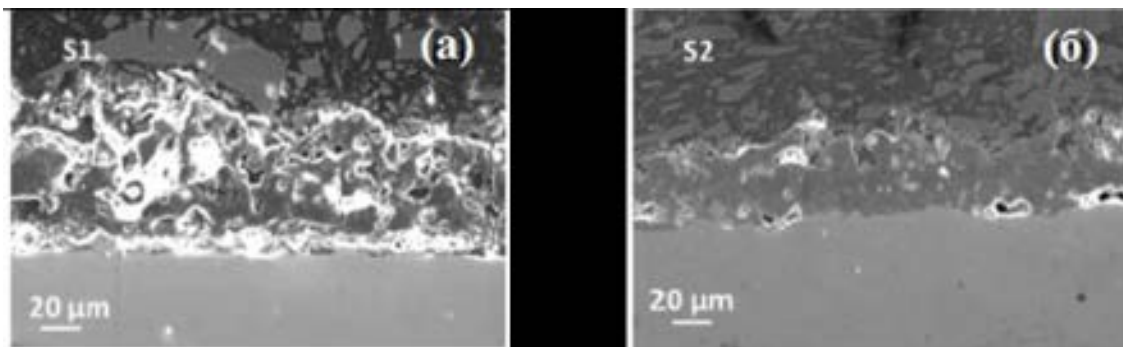
Патентте [11] коррозияға төзімді магнитоактивті кобальт жабындарын алу әдісі сипатталған. Титан субстратының плазмалық электролиттік тотығу процесін 10-15 г/л натрий фосфаты, 1,0-1,5 г/л кобальт нанобөлшектері және 0,1-0,2 г/л натрийодацил сульфаты бар электролитте, гальваностатикалық режимде, ток тығыздығы 0,05-0,2 А/см² 10-20 минут ішінде жүзеге асырады. Алынған ПЭТ жабындарының коррозияға төзімділігі мен қызмет ету мерзімін арттыру үшін оларға ультрадисперсті политетрафторэтилен (ПТФЭ) 55-60 % (салмағы бойынша) болатын сулы суспензияда центрифугалау арқылы қорғаныш гидрофобты қабатын қолданады, және құрғақ ПТФЭ салмағының 8,0-8,5 % моно- және диалкилфенолдардың қоспасын этилен оксидімен өңдеу өнімі, содан кейін 360-370 °C температурада 10-15 минут жандыру жүргізіледі.

Тағы бір жұмыста [12] ПЭТ параметрлерінің пайда болатын жабынның қасиеттеріне әсері зерттелген. Биполярлық режимде коррозияға төзімді және одан да тығыз жабындар алынатындығы анықталды. 1-суретте монополярлы және биполярлық режимдерде алынған Ti-6-4 қорытпасындағы жабындардың көлденең қималарының кескіндері көрсетілген.

Келесі топқа ПЭТ әдісімен тозуға төзімді, антифрикциялық жабындар жасау технологиялары енеді.

Қытайдағы University of Shanghai for Science and Technology университеті титан қорытпаларына тозуға төзімді жабындар шығару әдісін патенттеді [13], ондал МДТ процесі 3 г/л КОН, 5 г/л Na_2SiO_3 , 3 г/л NaF, 1 г/л $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, 3 г/л ТЭА бар ерітіндіде жүргізіледі. Процесс ток тығыздығы 3-5 А/дм², электролит температурасы <60 °C, ұзақтығы 5-30 минут. Алынған жабынның сипаттамасы: қалыңдығы 10-40 мкм, микроқаттылық > 700 HV.

Патент [14] авторлары 0,15 моль/л $\text{K}_2\text{Al}_2\text{O}_4$, 0,02 моль/л Na_3PO_4 және 0,015 моль/л NaOH бар электролиттегі титан қорытпасының ПЭТ процесіне температураның әсері қарастырылды. Аз кеуекті және тозуға төзімді жабындар төмен температурада алынатындығы анықталды.

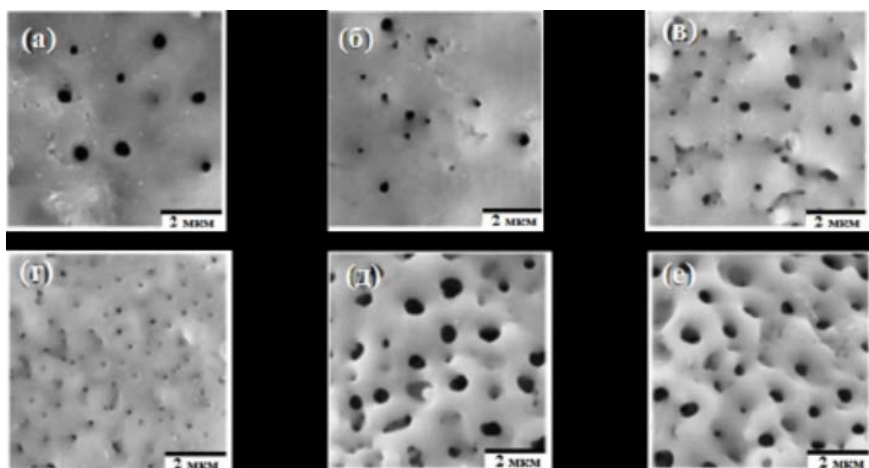


1-сурет – Монополярлы (а) және биполярлық (б) режимдерде алынған Тi-6-4 қорытпасындағы жабындылардың көлденең қималарының (СЭМ) кескіндері

Тағы бір жұмыста [15] 20 г/л $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, 10 г/л $(\text{NaPO}_3)_6$, 4 г/л NaAlO_2 бар электролитте биполярлық режимде алынған керамикалық ПЭТ жабындысының қасиеттері зерттелген. Алынған жабындар рутилден, аз мөлшерде анатазадан және кремний оксидінен тұрады. Жабынды сипаттамалары: қаттылығы 8,5 ГПа, серпімділік модулі 87,4 ГПа, адгезия беріктігі 70 МПа, болат контрденеге үйкеліс коэффициенті $\mu = 0,2 - 0,3$.

Келесі бір топқа ПЭТ әдісімен титан мен оның қорытпаларына каталитикалық белсенді қабаттарды алу технологияларын кіргізуге болады.

Патентте [16] 10 г/л $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ бар электролитте титанның бетінде алынған жабынның кеуектілігіне кернеу мен жиіліктің әсері зерттеледі. 2-суретте ПЭТ процесінің әртүрлі параметрлерінде алынған жабындардың суреттері көрсетілген. Кеуек өлшемі жиілік ұлғаюымен азаяды және 500 Гц жиілікте алынған жабындар ең үлкен каталитикалық белсенділікке ие.



2-сурет – Әртүрлі кернеу мен жиіліктегі плазмалық электролиттік тотығу нәтижесінде алынған титан жабындыларының кескіндері (СЭМ): 300 В, 50 Гц (а); 300 В, 500 Гц (б); 400 В, 50 Гц (в); 400 В, 500 Гц (г); 500 В, 50 Гц (д); 500 В, 500 Гц (е)

Көмірсутектерді тотықтыруға арналған титан мен оның қорытпаларында каталитикалық белсенді қабаттар түзудің әдісі [17] МДТ гальваностатикалық режимде 100-150 В кернеуде және тоқтың тығыздығы $0,5-4 \text{ А/дм}^2$ жүргізіледі, электролит температурасы $20-25^\circ\text{C}$, ұзақтығы 30-60 минут. Электролиттің құрамы: 35-350 г/л сілтілі метал дифосфаты, 20-100 г/л сілті металл цитраты, 15-90 г/л өтпелі металл (кобальт, никель, темір) қосылысы. Қабат металл бетіне жоғары адгезиямен, қалыңдығы 300 мкм дейін алынады.

Өзірлемелердің дамуының негізгі бағыттарына титан қорытпаларына тозуға төзімді, коррозияға төзімді, ыстыққа төзімді, электр оқшаулағыш, биоүйлесімді және декоративті жабынды алу үшін қолданылатын ПЭТ әдістер жатады.

Плазмалық электролиттік тотығу (ПЭТ) арқылы титан қорытпаларына жабындар алу технологиясы саласындағы қорғаныс құжаттары мен ғылыми-техникалық құжаттамаларды талдау нәтижесінде мыналар анықталды.

Жабындардың биоүйлесімділігінің жоғарылату мақсатында, гидроксипатит алу үшін электролитке кальций мен фосфат иондары енгізіледі.

Жабындардың декоративтілігін арттыру (пенканы бояу) мақсатында электролитке сілті металл ванадаттарын (гипо-, пиро-, мета-) немесе ванадий фторидтерін енгізу арқылы жүзеге асырылады.

Электролитке келесі компоненттерді: натрий гидроксиді, натрий алюминаты, натрий силикаты, ұнтақ түріндегі қатты фазалы ингредиенттер енгізу арқылы жабындардың микроқаттылық пен тозуға төзімділігі артады.

Коррозияға төзімділіктің жоғарылауы келесі әдістермен жүзеге асырылады:

– кеуектілікті электролитке түрлі металдар (титан, алюминий, сирек кездесетін жер элементтері және т.б.) және металл емес ұнтақтарды (титан оксиді, рутений оксиді, полиэтилен, полиамид, шыны, көміртегі фториді және т.б.) қосу арқылы төмендету;

– кеуектілікті процесс параметрлерін өзгерту арқылы төмендету – электролиттің температурасын төмендету, процесті биполярлық режимде жүргізу, импульстің қайталану жиілігін арттыру;

– бетіне гидрофобты қасиеттерді беру.

Әдебиеттер тізімі

1. Каблов Е.Н. Тенденции и ориентиры инновационного развития России: сб. науч.-информ. матер. 3-е изд. – М.: ВИАМ, 2015. – 720 с.
2. Козлов И.А., Дуюнова В.А. Влияние наполнения в растворе натриевого жидкого стекла на электрохимические свойства плазменного электролитического покрытия на сплаве ВМЛ20 // Авиационные материалы и технологии. – 2015. – №4 (37). – С. 61-66.
3. Pat. 101899700 CN, Preparation method of ultrasonic microarc oxidation silver-carrying antibiotic bioactive coating on magnesium and titanium surface; publ. 01.12.10.
4. Pat. 101054708 CN, Method of preparing hydroxyl apatite bioceramic film by plasma micro-arc oxidation method; publ. 17.10.07.
5. Pat. 102677125 CN, Preparation method of active antibacterial composite coating on surface of titanium and titanium alloy medical instrument; publ. 19.09.12.
6. Pat. 20140090962 KR, Manufacturing method for antibacterial titanium implant and antibacterial titanium implant by the same; publ. 18.07.14.
7. Pat. 101928974 CN, Preparation method and application of magnesium-doped porous nano titanium oxide coating; publ. 29.12.10.
8. Pat. 20120002225 KR, Method for preparing bio materials using coating of hydroxyapatite/zirconia composites and bio materials prepared therefrom; publ. 05.01.12.
9. Pat. 102605411 CN, Preparation process of pleated hole-slot shaped titanium dioxide thin film with super wetting ability; publ. 25.07.12.
10. Pat. 103060881 CN, Preparation method of black high-temperature oxidation resistant coating positioned on surface of titanium alloy; publ. 03.07.13.
11. Пат. 2478738 Российская Федерация, Способ получения магнитоактивных покрытий на титане и его сплавах; опубл. 10.04.13.
12. Hussein R.O., Nie X., Northwood D.O. A spectroscopic and microstructural study of oxide coatings produced on a Ti-6Al-4V alloy by plasma electrolytic oxidation // Materials Chemistry and Physics. 2012. – Vol. 134. – Pp. 484-492.
13. Pat. 102199785 CN, Microarc oxidation solution of titanium alloy wear-resistant coating and application thereof; pub. 28.09.11.
14. Habazaki H., Tsunekawa S., Tsuji E., Nakayama T. Formation and characterization of wear-resistant PEO coatings formed on titanium alloy at different electrolyte temperatures // Applied Surface Science. – 2012. – Vol. 259. – Pp. 711-718.
15. Wang Y.M., Jiang B.L., Lei T.Q., Guo L.X. Microarc oxidation coatings formed on Ti₆Al₄V in Na₂SiO₃ system solution: Microstructure, mechanical and tribological properties // Surface & Coatings Technology. – 2006. – Vol. 201. – Pp. 82-89.

16. Bayati M.R., Moshfegh A.Z., Golestani-Fard F. Effect of electrical parameters on morphology, chemical composition, and photoactivity of the nano-porous titania layers synthesized by pulse-microarc oxidation // *Electrochimica Acta*. 2010. – Vol. 55. – Pp. 2760-2766.
17. Пат. 69127 UA, Способ формирования каталитически активных слоев на титане и его сплавах; опубл. 25.04.12.

Қабылданды 21.07.2020

MFTAA 68.39.13:68.41.33

А.А. Исмайлова А.Е. Өтегенова

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ.

МАЛ АУРУЛАРЫН ДИАГНОСТИКАЛАУДЫҢ САРАПТАМАЛЫҚ ЖҮЙЕСІ

Бұл мақалада ірі қара мал ауруларын диагностикалаудың сараптамалық жүйесін іске асыру қарастырылады. Қазіргі таңда жақсы дайындалған ветеринар мамандардың жетіспеушілігі байқалады, бұл көптеген фермерлердің қажеттіліктерін қанағаттандырысyz қалдырады. Бұл кемшілікті жою үшін мал ауруларын диагностикалаудың сараптамалық жүйесі әзірленуі тиіс.

В данной статье рассматривается реализация экспертной системы диагностики болезней крупного рогатого скота. В настоящее время наблюдается недостаток хорошо подготовленных ветеринарных специалистов, что оставляет удовлетворительные потребности многих фермеров. Для устранения этих недостатков должна быть разработана экспертная система диагностики болезней животных.

This article discusses the implementation of the expert system of diagnosis of diseases of cattle. Currently, there is a lack of well-trained veterinary specialists, which leaves satisfactory needs of many farmers. To eliminate these shortcomings, an expert system for diagnosing animal diseases should be developed.

Түйін сөздер: Сараптамалық жүйе, білім қоры, диагностика, ветеринар планшеті, онтология.

Ауыл шаруашылығы саласының өндірістік үдерістерін оңтайландырудың жалғыз тез шешімі заманауи және озық технологияларды трансферттеу болып табылады. Технологияларды тиімді трансферттеудің өзекті мәселелерінің бірі – ауыл шаруашылығына цифрландыру мен интернетті ұдайы енгізуді қамтамасыз ететін технологиялық компетенциялардың болмауы. Мәселе шешілген жағдайда бұл сала, ауыл шаруашылығы 4.0 атрибуттары болып табылатын, өнімділіктің еселеп өсуі және өндірістік емес шығындардың азаюы салдарынан жоғары технологиялық бизнеске айналады.

Мал шаруашылығы саласындағы ғылыми жетістіктер мен электронды технологиялар құнының төмендеуі, физиологиялық параметрлер, өндірістік көрсеткіштер және мінез-құлықтық белгілер сияқты мәліметтерді автоматты түрде жинайтын «сенсорлы шешімдерді» әзірлеуге мүмкіндік берді. Мұндай мәліметтер ерте кезден жекелеген жануарлардың денсаулық мәселесін анықтауға мүмкіндік беріп, шешім қабылдау үдерісіне потенциалды көмектесуі мүмкін.

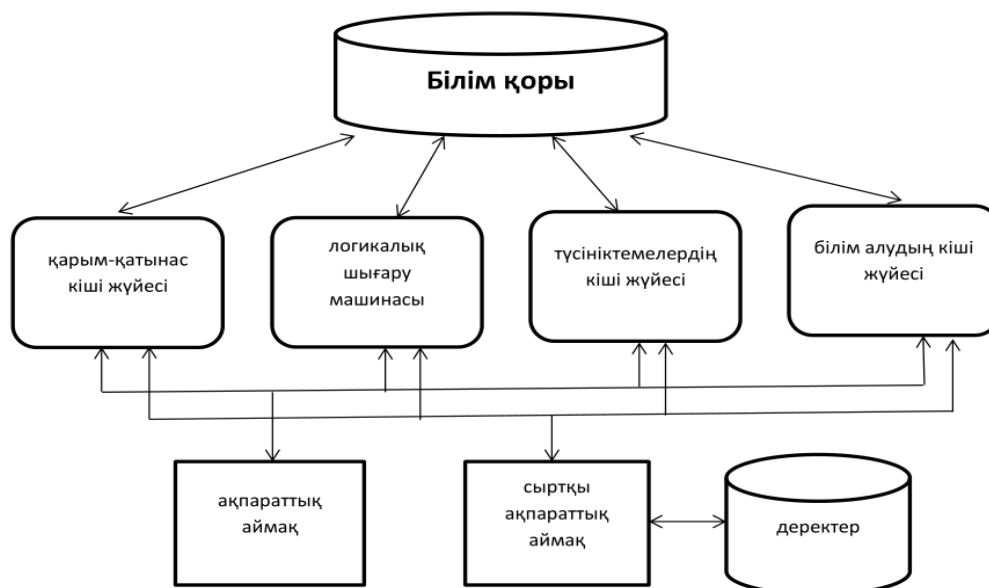
Аталған жұмыс «ақпараттық технологиялық топтың қатысуымен, Солтүстік Қазақстанның сүт фермаларында өндірістік үдерістерді оңтайландыру үшін инновациялық технологияларды трансферттеу және бейімдеу» бағдарламасы шеңберінде орындалды. Сараптамалық жүйенің басты міндеттерінің бірі «ветеринар планшетін» дайындау болып табылады.

Сараптамалық жүйе құрылымындағы білім базасы. Сараптамалық жүйелер жасанды интеллекттің неғұрлым перспективалы саласы бола отырып, барынша үлкен мәнге ие және практикада (медицинада, химияда, өнеркәсіпте және т.б.) неғұрлым кең қолданыс табады. Негізінен, олар сарапшылары сияқты, логикалық қорытынды және жан-жақты білімді пайдалану арқылы белгілі бір сала мәселелерін шешетін жасанды интеллектінің түрлі әдістерінің көмегімен орындалған интеллекті компьютерлік бағдарламалар болып табылады. Бұл жүйелердің «интеллекті» айтарлықтай дәрежеде қолдану саласындағы білімге негізделген болғандықтан (яғни білімнің ауқымды негізінде), оларды білімге негізделген жүйелер деп жиі атайды. Сараптамалық жүйелер пайда-

ланушыға өзінің қорытынды тәсілін, проблеманы шешу тәсілін, атап айтқанда мақсатқа қол жеткізу рәсімін және осы рәсімде пайдаланылатын тиісті фактілер мен білімді қалай түсіндіретінін біледі. Олар тіпті толық емес немесе дұрыс емес деректер негізінде (сарапшылар ретінде) қорытынды жасай алады. Сараптама жүйелерінің архитектурасы қолдану саласына байланысты және тұрақты зерттеулер мен жетілдіруге әсер етеді.

Білім базасы сараптама жүйесінің маңызды компоненттерінің бірі болып табылады (1-сурет). Сараптама жүйесін құру кезінде бұл көбінесе ең күрделі және көп еңбекті қажет ететін кезең. Білім базасы нақты пәндік сала бойынша білім негізінде қарастырады:

- фактілер;
- ережелер (жалпыға белгілі және жалпы қабылданған білім);
- эвристикалық (сарапшылардың тәжірибесі мен терең білімі және осы білім негізінде шешім қабылдау және шығару әдістері) [1].



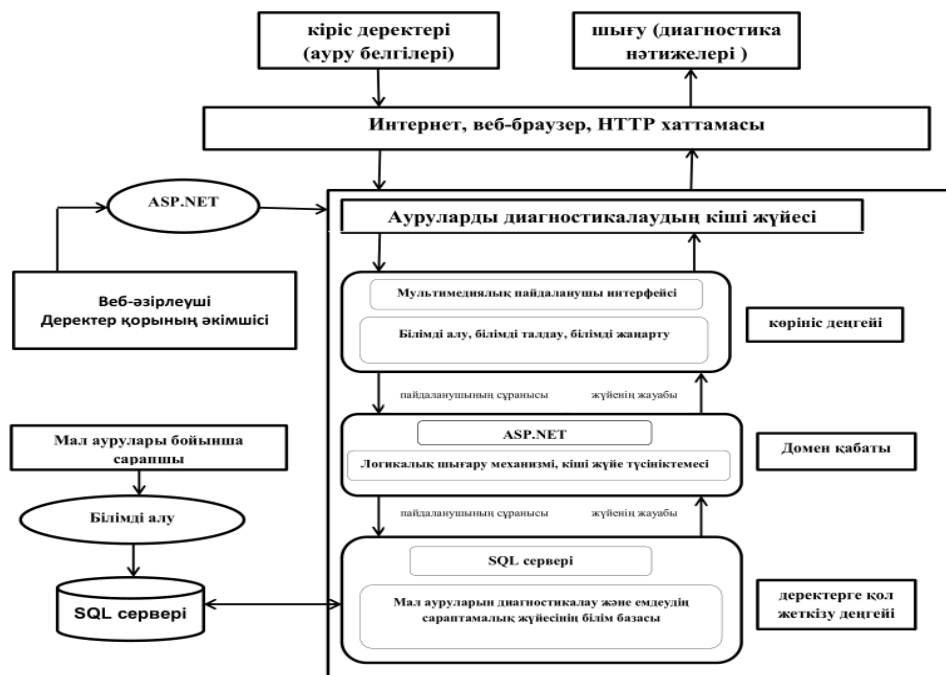
1-сурет – Сараптамалық жүйе құрылымындағы білім базасы

Диагностиканың жаңа әдістерін дамыту, сондай-ақ қолданыстағы әдістердің мүмкіндіктерін кеңейту ветеринарияда өзекті міндет болып қала береді. Жаңа диагностикалық және емдік технологиялардың пайда болуы медициналық деректерді жинақтау, сақтау және бірнеше рет пайдалану мүмкіндігімен деректерді өңдеу және түсіндіру үшін жасанды интеллект әдістерін пайдалануды талап етеді. Осы саладағы ең тиімді құралдардың бірі сараптамалық жүйелер болып табылады [2]. Олар жануарларды куәландыру кезінде шешім қабылдау процесін автоматтандыруға, пайдаланушының біліктілік деңгейін тәжірибелі сарапшылар деңгейіне дейін арттыруға мүмкіндік береді. Есептеу техникасының үздіксіз дамуы осындай жүйелердің әлеуетті мүмкіндіктерін кеңейтеді, осыған байланысты осы саладағы білімді үнемі толықтыру қажет [3].

Мал ауруларын диагностикалаудың тиімді және дәл сараптамалық жүйесін жобалау және әзірлеу мал өнеркәсібі алдында тұрған ағымдағы проблемаларды шешу үшін перспективалы стратегия болып табылады. Мұнда біз мал ауруларын зерттеу объектісі ретінде қарастырамыз, деректер базасын құру үшін онтологияның объектілі-бағытталған әдісін ұсынамыз.

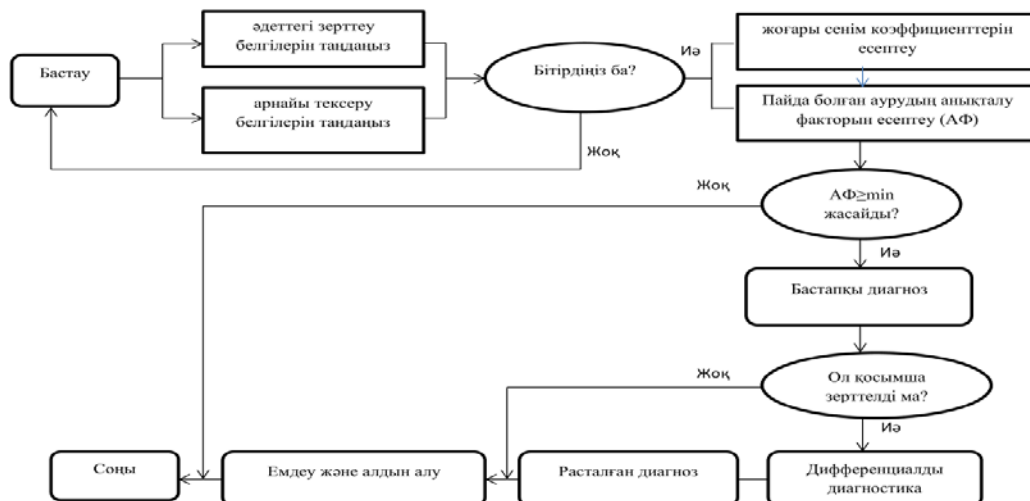
Жүйенің архитектурасы және шығару процесі. Сараптама жүйесінің қосымшасы C#, SQL server 2008 және visual studio 2008 бағдарламалау тілін қолдану арқылы әзірлеуге болады. C# бағдарламалау тілі деректер қорының серверлеріне арналған негізгі тіл болып табылады [4]. SQL Server – бұл деректерді сақтау мен шығаруды жеңілдететін реляциялық деректер қорын басқару жүйесі.

Сараптама жүйесінің архитектурасы 2-суретте көрсетілген. Ауруларды диагностикалаудың кіші жүйесі негізінен көріну, домен және деректерге қол жеткізу деңгейлерінен тұрады. Диагностикалық функцияларға пайдаланушы интерфейсі, шешім шығару қозғалтқышы, түсінік жүйесі және білім базасы және т.б. арқылы қол жеткізілді.



2-сурет – Мал ауруларын диагностикалаудың сараптамалық жүйесінің архитектурасы

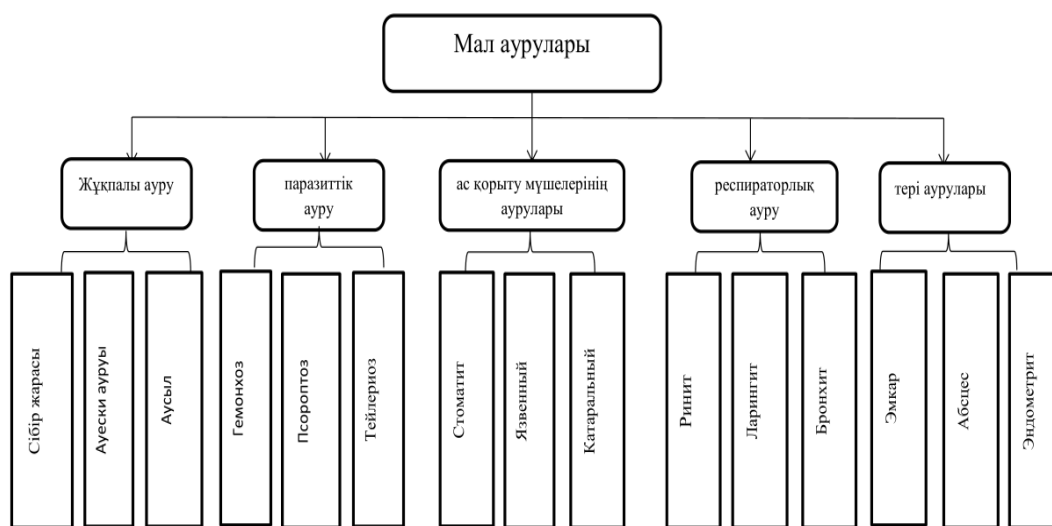
Содан кейін пайдаланушылар шешім қабылдау процесінің көмегімен диагнозды анықтау үшін сараптама жүйесіне қол жеткізе алады, ол фактілерді ережелермен автоматты түрде салыстырады, олардың қайсысы неғұрлым релевантты болып табылатындығын анықтайды. Мал ауруларын диагностикалаудың сараптамалық жүйесі қолданатын шығару процесі 3-суретте көрсетілген.



3-сурет – Мал ауруларын диагностикалаудың сараптамалық жүйесінің жұмыс процесі және шешімдері

Білім базасында білім беру моделі. Білім базасы сараптама жүйесін әзірлеу циклінің маңызды кезеңдерінің бірі болып табылады. Білім базасы үшін көптеген әдістемелер әзірленді. Кейбір жиі қолданылатын әдістер сұхбат, бақылау және тақырыптық зерттеулердің сараптамалық шолуларын қамтиды [5]. Білім алу процесін бастамас бұрын осы проблеманы тиімді және дұрыс шешу үшін қандай ақпарат қажет екенін анықтау маңызды.

Мал ауруларының кең спектріне байланысты аурудың алғашқы себебі жиі, күрделі және уақыт өте келе дамуы мүмкін. Сонымен қатар, сиыр малының физикалық жағдайы, азықтануы және жасы осы аурудың пайда болуына және дамуына әсер етеді. Аурудың ауырлығы, қоршаған орта және басқа да ауыспалы факторлармен байланысты. Сондықтан сиыр ауруларының диагностикасы өте күрделі мәселе болып табылады. Онтологиялық методология және объектілі-бағытталған технология ірі қара аурулары туралы білімдерді концептуализацияланған және формалданған үлгіге абстракциялау үшін қолданылады. Содан кейін моделді ұйымдастыру және құрылымы білім базасын құру үшін бөлінеді. Бұл онтология білім базасын құрудың объектілі-бағытталған әдісі. Онтология ұғымын алғаш рет 1993 жылы Грубер болып анықтады [6]. Басқаша айтқанда, онтология – бұл нақты концептуализация ерекшелігі. Онтология жасанды интеллект саласындағы білім базасының құрылымын зерттеу теориясына жатады. Жасанды интеллект жүйесі объектілердің жіктелуін, объектілердің атрибуттары мен нақты білім саласындағы объектілер арасындағы өзара байланысты зерттейді. Бұдан әрі процесс ұғымдарды, терминдерді және олардың өзара байланысын стандартталған сипаттау арқылы нақты саладағы білім жүйесін сипаттайды. Ірі қара малының жалпы ауруларында құрылған онтология құрылымы 4-суретте көрсетілген.



4-сурет – Сиыр малының кең таралған аурулары сыныптарының онтологиясы

Сараптау жүйелері ұзақ уақыт бойы ветеринарияда ауруларды диагностикалау үшін қолданылып келеді. Диагностикалық және емдік шешімдерді қабылдау қиын, әсіресе бастауыш дәрігер-мамандар үшін. Жоғары деңгейдегі сарапшы-дәрігерлер жинақтаған айтарлықтай тәжірибе мен білім оларға көптеген жағдайларда дұрыс диагностикалық және емдік шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді. Шешім қабылдау пациент туралы белгілі бір ақпаратты өңдеу нәтижесі болып табылатындықтан және жинақталған білімді пайдалануға негізделгендіктен, жасанды интеллекттің компьютерлік жүйелері, атап айтқанда, сараптамалық жүйелер (немесе білімге негізделген жүйелер) диагностика міндеттерін шешуде және емдеу тактикасын таңдауда дәрігерге көмектесе алады деп күтуге болады [7]. Компьютер жадында сақталған сарапшылардың біліміне сүйене отырып, медициналық сараптама жүйесі дәрігерге қандай да бір диагноздарға немесе синдромдарға тән клиникалық жағдайларды «тануға» көмектесе алады, соңғыларына жүйе ұсынған тиісті диагностикалық немесе емдеу шешімін қабылдау немесе қабылдамау құқығын қалдыра алады.

Бүгінгі таңда С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің ақпараттық технологиялық тобы үлкен жұмыс атқарды, атап айтқанда, ветеринар планшеті үшін білім қорын толтыруда.

Орталық базадан «ветеринар планшеті» бағдарламалық өніміне жаңартылған деректерді берудің RESTAPI веб-сервисі әзірленді. «Ветеринар планшеті» ПП пайдаланушылық интерфейсінің дизайны әзірленді («Figma» прототиптеу ортасында), бағдарламалық өнімнің бірінші нұсқасының функционалдық мүмкіндіктері анықталады: ауруларды іздеу және қарау, аурулардың алдын алу, ветеринарлық препараттар, ветеринарлық объектілер, аурулардың диагностикасы (симптомдары мен зақымданулары бойынша), сондай-ақ жануарлар туралы мәліметтерді қарау («табынды басқару» бағдарламалық өнімімен интеграциялау).

Ауыл шаруашылығы жануарларымен жұмыс істейтін ветеринариялық дәрігер үшін көпфункционалды құрал қажет, ол өзінің функциясы арқылы ветеринариялық дәрігердің еңбек тиімділігін жақсартады және ауыл шаруашылығы жануарларының белгілі бір ауруларын диагностикалау, емдеу, алдын алу және жою кезінде дұрыс қабылданған шешімдер арқылы оның өнімділігін арттырады.

Осы ғылыми бағдарлама Қазақстан Республикасының Ауыл шаруашылығы саласындағы цифрлық технологияларды қолдану саласындағы үздік тәжірибені енгізуге және бейімдеуге бағытталатын бірінші кешенді шешім болады.

Әдебиеттер тізімі

1. S. Šimundiæ, A. Munitiæ «The Knowledge Basis in the Expert System Structure for the Ship Construction Phase» // Symposium ELMAR'94, Zadar. 1994. – P. 30-308.
2. Петзолд Ч. Программирование для Windows 95: В 2 т. – СПб.: BHV – Санкт-Петербург, 1997.
3. Подбельский В.В., Фомин С.С. Программирование на языке Си: Учеб. пособие. – 2-е доп. изд. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 600 с.
4. Li G, Zhang Q, Chen D, et al. Design and implementation of monitoring interface for combustion process using C# language // IEEE, conference on industrial electronics and applications. – Hefei, China. – P. 1741-3.
5. Leu George, Abbass Hussein. A multi-disciplinary review of knowledge acquisition methods: from human to autonomous eliciting agents // J Knowledge-Based Systems. – 2016. – 105(C):1-22.
6. Gruber TR. A translation approach to portable ontology specifications // J Knowledge Acquisitions. – 1993. – Vol. 5(2). – P. 199-220.
7. Угринович Н. Информатика и информационные технологии. Набор базовых знаний. – М.: Радио и связь, 2000.

Қабылданды 21.07.2020

MFTAA 669.213

Л. Лиакын¹, Ж.С. Оналбаева¹, С.В. Мамяченков²

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

²Ресейдің тұңғыш Президенті Б.Н. Ельцин атындағы Орал федералдық университеті, Екатеринбург қаласы, Ресей

Fe²⁺/Fe³⁺ - Zn²⁺ - SO₄²⁻ - H₂O ЖҮЙЕСІНДЕГІ ТЕПЕ-ТЕҢДІКТІ Eh-pH (ПУРБЭ ДИАГРАММАСЫ) ДИАГРАММАСЫ АРҚЫЛЫ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ

Ұсынылған мақалада жоғары ластанған мырыш сульфатын темірдің екі валентті және үш валентті иондарынан тазарту кезінде жүйеде тепе-теңдіктің Eh-pH диаграммасын (Пурбэ диаграммасы) қолдана отырып, сутектік көрсеткіш пен потенциалдардың мәндері, сондай-ақ Гиббс энергиясының мәндері анықталған.

В предлагаемой статье определены значения водородного показателя и потенциалов, а также значения энергии Гиббса, с помощью диаграммы Eh-pH (Пурбинская диаграмма) равнове-

сия в системе при очистке высокозагрязненного сульфата цинка от двухвалентных и трехвалентных ионов железа.

The suggested article, defines the values of the hydrogen index and potentials, as well as the values of the Gibbs energy, using the Eh-pH diagram (Pourbaix- diagrams) of the equilibrium in the system when cleaning highly polluted zinc sulfate from divalent and trivalent iron ions.

Түйін сөздер: Eh-pH (Пурбэ диаграммасы) диаграммасы, мырыш сульфаты ерітіндісі, темірдің екі валентті ионы, темірдің үш валентті ионы, тепе-теңдік.

Қазіргі уақытта түсті металлургия өндірісінде экологиялық және экономикалық жағынан тиімді өндіру әдістерін жетілдіру өзекті мәселе болып табылады, себебі уақыт өткен сайын түсті металл кендерінің қорының азаюы және кен сапасының төмендеуі байқалуда. Осы себептерге байланысты кен өндірудегі дәстүрлі технология болып табылатын кенді күйдіріп, ары қарай ерітінділерге жіберу дайын өнімнің өзіндік құнының жоғарылауына әкеледі.

Осындай мәселелерді шешу мақсатында кенді бірден ерітінділеуге арналған технологияны қолдану және ерітінділеуден кейін алынған жоғары дәрежеде ластанған ерітіндіні тазарту әлем бойынша қызығушылық тудырады.

Жаңа технология негізінде кен өндіру заман талабы болып есептелгенімен, кенді бірден ерітінділеуге жібергеннен кейін алынған ерітіндінің ластануы дәстүрлі әдіспен салыстырғанда 10-20 есеге артады. Мысал ретінде мырыш өндіру кен орындарын алып қарауға болады. Ерітінділеу кезінде күкірт қышқылы қолданылатындықтан, түзілген ерітіндіде мырыш сульфатымен қатар темір, мыс, кадмий, никель металдарының тұздары кездеседі. Ең алдымен ерітіндідегі темірдің екі және үш валентті иондары гидролиттік тазартуға жіберіледі [1].

Төмен сапалы мырыш сульфаты ерітінділерінде екі валентті темір ионының болуы гидролиттік тұндыру барысында тұнбаны қатты және сұйық фазаға бөлу кезінде қиындықтар тудыратындығы ғылыми-техникалық әдебиет көздерінен және гидрометаллургиялық технологияны қолданып, жоғары маркалы мырыш алуды мақсат еткен өндіріс орындарының зерттеулерінен және жұмыс тәжірибесінен белгілі. Сондықтан ерітіндідегі темір иондарының барлығын үш валентті формаға ауыстыру электрототықтыруды қолданудың қалдықсыз өнім алудағы, сондай-ақ қажетті реактивтерді тасу мен сақтаудағы кететін шығынды азайтудағы артықшылықтары дәстүрлі технологиялық сұлбаны жетілдіруді талап етеді [1]. Технологиялық операцияларды жүзеге асыру үшін жүйені термодинамикалық жағынан зерттеудің маңыздылығы зор.

Темірдің екі валентті ионы мен күкірт оксиді және оттегі қоспасының 350K кезіндегі кинетикасын зерттеуге арналған жұмыста реакцияның ең баяу сатысы FeSO_3^+ кешенді қосылысы түзіле жүретін және SO_3^- радикалына ыдырап, ары қарай темірдің екі валентті ионының автототығуына жауап беретін оттегімен SO_5^- радикалы түзілетін жылдам реакциялардың жүруі қамтылған тізбекті реакциялар механизмі келтірілген. Бұл әдіс кейінгі ерітінділеу үрдісі үшін алынған темірдің үш валентті ионы мен күкірт қышқылы қалдығының ерітіндісін алудың тиімді әдісі болып табылады [2].

Мырыш кегінен 85-95 °C кезінде алынған мырыш сульфаты ерітіндісінен темірді тазарту үрдістерінде темірдің екі валентті ионын сутек пероксидімен тотықтыру реакциясы мүмкін болатын ең жүйелі термодинамикалық талдау болып табылады. Бұл жұмыста есептеу үшін термодинамикалық константалары тұрақты екі валентті темірдің Fe^{2+} , FeOH^+ , Fe(OH)_3^- , Fe(OH)_4^{2-} қатарлы төрт ионы қолданылған. Тотығу реакциясының Гиббс энергиясының өзгерісінің мәні мүмкін болатын барлық реакция нұсқалары үшін есептелген.

Зерттеу нәтижесіне сәйкес Гиббс энергиясы өзгерісі мәнінің төмендеуі, тепе-теңдік реакциясы константасының артуы темірдің екі валентті ионының бастапқы құрамының ерітіндіде айтарлықтай азаятындығын және тотығу реакциясының қайтымсыз болатындығын көрсетеді. Ерітіндідегі ионның түріне және тотыққан кезде түзілген судың мөлшеріне байланысты Гиббс энергиясы өзгерісінің айтарлықтай кемитіндігі анықталған. Автордың пікірінше темірді ерітіндіден кешенді қосылыс түрінде тазарту мүмкін болғанымен, осы әдістердің ішінен қайсы әдіс жақсы тұндыруда басымырақ артықшылыққа ие екендігін анықтауда, бастапқы иондардың ерітіндідегі pH мәні мен ерітіндінің құрамына байланысты екендігін атап көрсеткен [3].

Темірдің үш валентті ионының мырыш оксидімен тұнбаға түсу реакциясының есептелген тепе-теңдік константасының шамасы 10^{-27} тең. Яғни, темір ерітіндіде толық тұнбаға түсуі керек, деген-

мен ерітіндіде темірдің екі валентті иондарының немесе $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$, FeOH^{2+} , FeSO_4^+ күрделі иондарының болуы мырыш сульфаты ерітіндісін тазарту үрдісіне айтарлықтай қиындықтар тудырады. Ерітіндіде темірдің екі валентті ионының болуы реакция жылдамдығының кенеттен төмендеуіне және реакцияның тепе-теңдікке жетуіне кері әсерін тигізеді [4].

Гидролиттік тазарту ерітіндідегі металл катиондарының сумен өзара әрекеттесіп, суда аз еритін гидроксидтер түзетін қабілетіне негізделген, реакцияның жүру бағыты ерітіндінің pH-на байланысты болады.

Жоғарыда қарастырылған ғылыми-техникалық әдебиет көздерінің талдауларына сүйеніп, мырыш сульфаты ерітіндісін темірден тазартуда алдымен « $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ - Zn^{2+} - SO_4^{2-} - H_2O », жүйесіндегі тепе-теңдікті термодинамикалық зерттеу қажеттілігі туындайды.

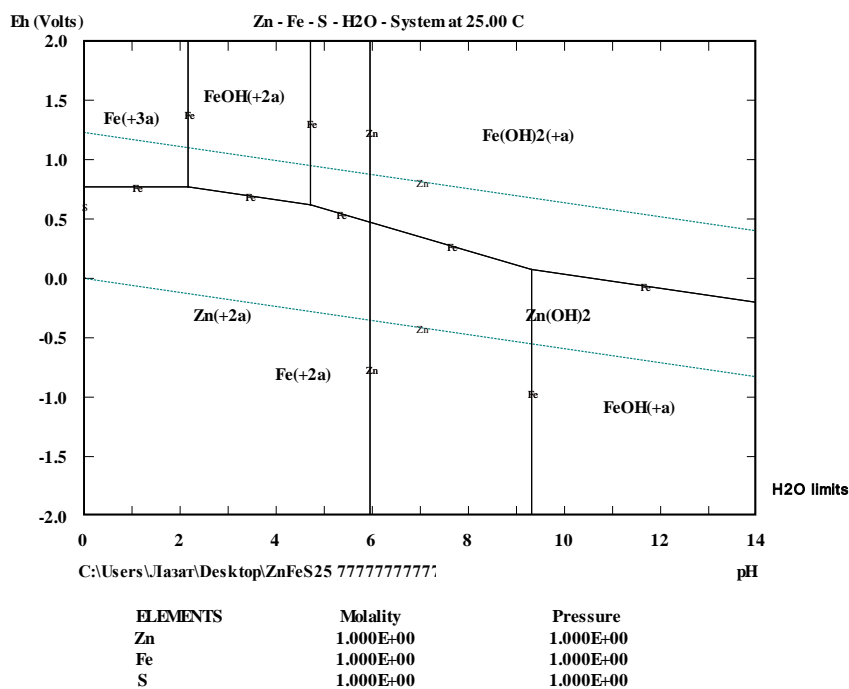
Қатты және сұйық фаза жүйелеріндегі тепе-теңдікті графикалық бейнелеу үшін – Eh- pH диаграммалары (Пурбэ диаграммасы) қолайлы болып табылады. Диаграмма потенциал шамасына және pH мәніне байланысты термодинамикалық тұрақты жағдайларды көрнекі түрде ұсынуға мүмкіндік береді [5].

Жұмыстың мақсаты Пурбэ диаграммасы көмегімен жоғары дәрежеде ластанған мырыш сульфаты ерітіндісінен темірді тазарту үрдісін термодинамикалық жағынан зерттеуде, температура әр 10°C -қа өскен кездегі $15\text{--}45^\circ\text{C}$ аралығында мүмкін болатын сутектік көрсеткіш мәнін және потенциал шамасын, сондай-ақ жүйе компоненттерінің Гиббс энергия өзгерісін анықтау.

Жоғарыда атап көрсетілген жүйе HSC Chemistry бағдарламасы көмегімен зерттелді. Бұл бағдарлама әртүрлі химиялық реакциялар мен тепе-теңдікті есептеуге арналған. Қолданылған нұсқада HSC мәзірінде негізгі он төрт параметр бойынша есептік модульді анықтайды. Осы параметрлер ішінен жүйенің сутектік көрсеткіш мәнін және потенциалын анықтауда Eh-pH модулі жүйенің температурасы мен концентрациясына байланысты диаграммаларды өте тез әрі дұрыс салуға мүмкіндік береді.

Төменде зерттеуге арналған темір иондары – мырыш иондары – сульфат иондары-су жүйесіндегі Eh-pH (Пурбэ диаграммасы) диаграммалар көрсетілген.

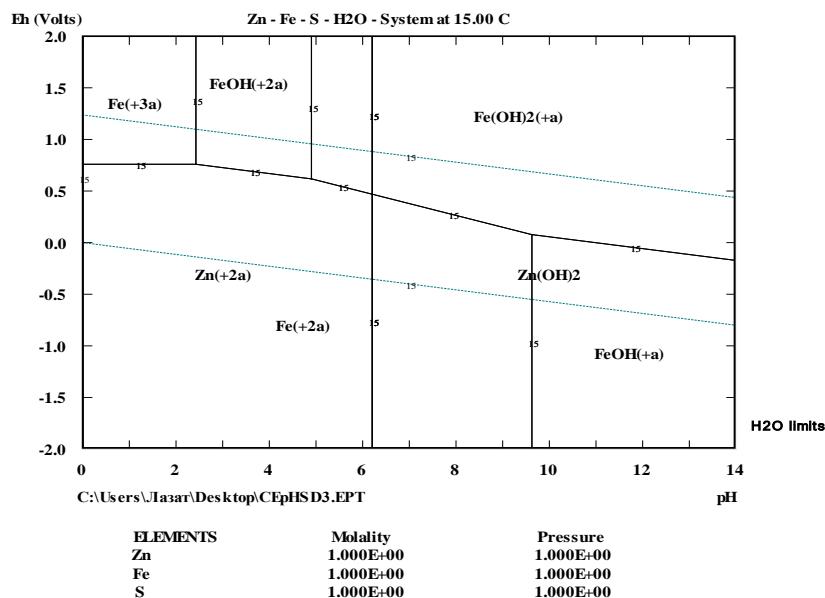
« $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ - Zn - SO_4 - H_2O » жүйесіндегі температура 25°C кезіндегі тепе-теңдік Eh-pH (Пурбэ диаграммасы) арқылы термодинамикалық сипатталады (1-сурет).



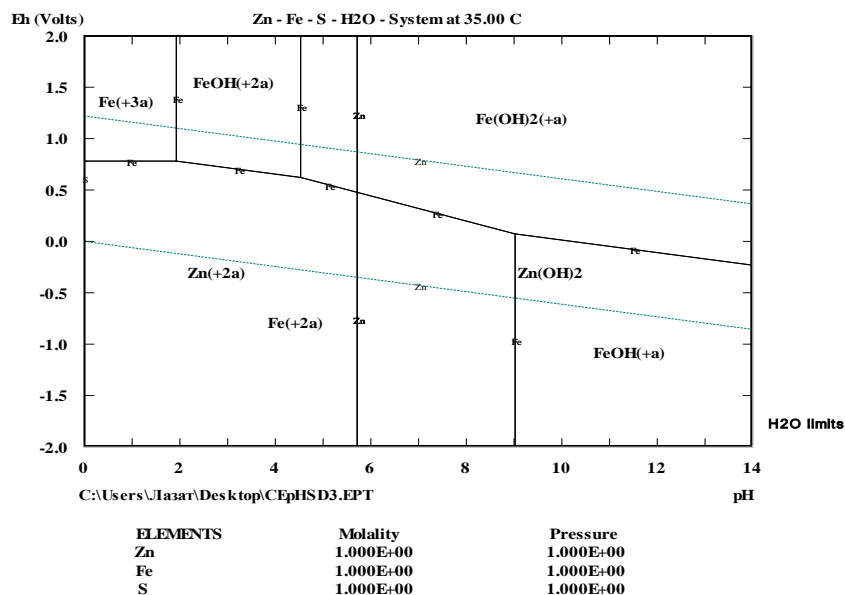
1-сурет – Температура 25°C кезіндегі Zn-Fe-S - H_2O жүйесіндегі Eh-pH диаграммасы

Суретте көрсетілгендей, жүйедегі тұрақты қатты фазалар: FeOH^{2+} , $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Zn}(\text{OH})_2$ гидроксидтер. Ал сұйық фазалар Fe^{2+} , Fe^{3+} , $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$, FeOH^+ және Zn^{2+} иондары болып табылады. Диаграммаға сәйкес темірдің үш валентті ионының тұнбаға түсуі үшін pH мәні 2,2, ал потенциал шамасы 0,7-0,88 В болатындығын, ал темірдің екі валентті ионы үшін pH мәні 6 болатындығын байқауға болады. Демек, жүйенің температурасы компоненттердің тұрақты қатты фазаға ауысуына қажетті pH және потенциал шамасына әсер ететіндігі келесі диаграммалардан айқын аңғарылады.

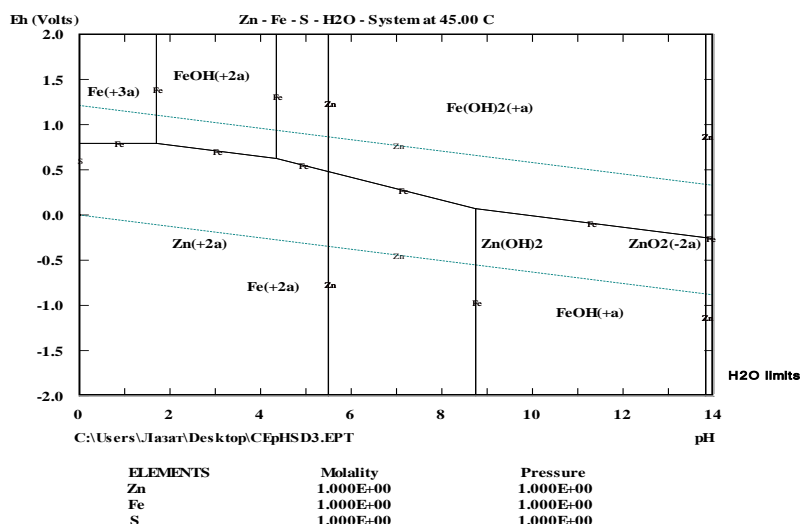
Зерттеуге арналған жүйенің 15 °C, 35 °C, 45 °C кезіндегі потенциал шамасы және pH мәні 2, 3, 4-суреттерде көрсетілген.



2-сурет – Температура 15 °C кезіндегі Zn-Fe-S - H₂O жүйесіндегі Eh-pH диаграммасы



3-сурет – Температура 35 °C кезіндегі Zn-Fe-S - H₂O жүйесіндегі Eh-pH диаграммасы



4-сурет – Температура 45 °C кезіндегі Zn-Fe-S - H₂O жүйесіндегі Eh-pH диаграммасы

1-кесте

Fe^{2+}/Fe^{3+} - Zn^{2+} - SO_4 - H_2O жүйесіндегі компоненттердің Гиббс энергия өзгерісі мәндері

Жүйе компоненттері	Fe^{2+}	Fe^{3+}	$Fe(OH)_2$	$Fe(OH)_3$	$Zn(OH)_2$
$\Delta G / T$ Kcal/моль	-21,875	-4,107	-117,464	-169,451	-132,309

Кестеде температура 25 °C кезіндегі жүйе компоненттерінің Гиббс энергия өзгерісі келесі формулаға негізделіп HSC Chemistry бағдарламасында есептелді:

$$\Delta G = -nFE \quad (1)$$

Кестеде көрсетілгендей темірдің екі және үш валентті иондарының 25 °C температурада қатты фазаға ауысу кезіндегі мәндеріне негізделіп, 1 моль темірдің (III) гидроксиді түзілген кездегі Гиббс энергия өзгерісінің шамасы, 1 моль темірдің (II) гидроксиді түзілуі кезіндегі шамасымен салыстырғанда әлдеқайда төмен екендігін байқалады. Демек алдымен темірдің үш валентті ионы тұнбаға түсетіндігін дәлелдеуге болады.

Қорыта айтқанда, Пурбэ диаграммасы көмегімен жоғары дәрежеде ластанған мырыш сульфаты ерітіндісінен темірді тазарту үрдісін термодинамикалық жағынан зерттеуде температура әр 10 °C-ға өскен кездегі 15-45 аралығында мүмкін болатын сутектік көрсеткіш және потенциал шамасы мәндеріне сүйеніп, жүйені ары қарай 25 °C кезіндегі алынған көрсеткіштер бойынша зерттеуімізге болатындығын түсіндіреді. Сондай-ақ, бағдарлама көмегімен дәл есептелген Гиббс энергия мәндері де жүйеде тек темірдің үш валентті ионы ғана болған кезде реакцияны аз энергия жұмсап тепе-теңдікке жетуге болатындығын дәлелдейді.

Әдебиеттер тізімі

1. Оналбаева Ж.С., Куленова Н.А., Мамяченков С.В., Анисимова О.С. Проблемы очистки сульфатных цинковых растворов с повышенным содержанием железа // Матер. XII конференции «Металлургия цветных, редких и благородных металлов» в рамках X Международного конгресса «Цветные металлы и минералы – 2018». – Красноярск, 2018. – С. 1329-1332.
2. Dense hydrolysis products from iron (III) nitrate and sulfate solutions/ Flynn, Jr.C.M. // Hydrometallurgy. – 1990. 25. – №2. – С. 257-270.
3. Зюдинов В.Е. Изучение поведения ионов железа (III) в сульфатных растворах в присутствии ионов калия // Неорган. химия. – 1990. 35. – №11. – С. 2786-2788.
4. Попов И.О., Мироевский Г.П. О методе расчета окислительно-восстановительных потенциалов Me^{3+}/Me^{2+} подгруппы железа в присутствии труднорастворимых гидроксидов $Me(III)$ // Цветная металлургия. – 2001. – № 2-3. – С. 9-10.

5. Зеликман А.Н., Вольдман Г.М., Беляевская Л.В. Теория гидрометаллургических процессов. – М.: Металлургия, 1984. – С. 60-67.

Қабылданды 21.08.2020

МРНТИ 669.213

Г.Р. Маратова¹, Г.К. Даумова¹, Д.А. Асанов¹, А.Т. Садуакасова¹

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

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЛЬТРАДИСПЕРГИРОВАННЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ДООЧИСТКИ ШАХТНЫХ ВОД

Исследованы процессы извлечения тяжелых металлов из шахтных сточных вод Риддерского ГОК перед сбросом в реку Зухорд с применением ультрадиспергированных адсорбентов: бентонитовых глин, шунгитов, отходов производства минеральной ваты, золы Каражыринского угля. По результатам экспериментов установлено, что рассматриваемые материалы являются перспективными для использования их с целью глубокой доочистки шахтных вод. Наибольшая степень извлечения ионов меди достигается при 6-часовом времени контакта сточной воды с отходами производства минеральной ваты (0,00243 мг/л), а от ионов цинка – с золой (0,23897 мг/л).

На основе результатов исследований была выполнена математическая обработка показателей извлечения ионов тяжелых металлов из шахтных вод.

Зухорд өзеніне Риддер КБК шахталық ағынды суларынан қашырту алдында ультрадиспергентті адсорбенттерді – бентонитті саздарын, шунгиттерді, минералды мақта өндірісінің қалдықтарын, Қаражыра көмірінің күлін қолдана отырып, ауыр металдарды алу процестері зерттелді. Эксперимент нәтижелері бойынша қарастырылған материалдар шахталық суды терең тазарту мақсатында оларды пайдалану үшін перспективалы болып табылатыны анықталды. Мыс иондарын алудың ең үлкен дәрежесіне минералды мақта өндірісінің қалдықтарымен (0,00243 мг/л), ал мырыш иондарынан – күлмен (0,23897 мг/л) ағынды судың түйіскен 6 сағаттық уақыты кезінде қол жеткізіледі.

Зерттеу нәтижелері негізінде шахталық сулардан ауыр металл иондарын шығару көрсеткіштерін математикалық өңдеу орындалды.

The processes of heavy metals extraction from mine wastewater of the Ridder MPP before discharge into the Zukhord River using ultradispersed adsorbents – bentonite clays, shungite, mineral wool production waste, and ash of Karazhyrinsky coal were studied. According to the results of experiments, it was found that the materials under consideration are promising for their use for the purpose of deep post-treatment of mine water. The highest degree of extraction of copper ions is achieved with a 6-hour contact time of wastewater with mineral wool waste (0.00243 mg / l), and from zinc ions with ash (0.23897 mg / l).

Based on the research results, mathematical processing of the indicators for the heavy metal ions extraction from mine water was performed.

Ключевые слова: шахтные сточные воды, сорбция, адсорбенты, механоактивация, тяжелые металлы.

Согласно статистическим данным [1] в водные объекты Республики Казахстан по состоянию на 2018 год сбрасывалось до 50 млн. м³ загрязненных сточных вод (без очистки и недостаточно очищенных). Основными загрязняющими веществами в реках Восточно-Казахстанской области (реки Иртыш, Бухтарма, Брекса, Тихая, Ульба, Глубочанка, Красноярка и т.д.) являются тяжелые металлы: медь, цинк, марганец. Например, по реке Иртыш кратность превышения предельно-допустимых концентраций (далее – ПДК) по гидрохимическим показателям на 2018 год составила: по меди – в 2,5 раз, по цинку – в 1,9 раз и по марганцу – в 1,4 раза. Качество воды рек Брекса, Тихая, Ульба и Глубочанка характеризуется как «высокого уровня загрязнения», а реки Красноярка – «чрезвычайно высокого уровня загрязнения». На 2018 год в сравнении с предыдущим годом уровень загрязнения поверхностных вод Восточно-Казахстанской области согласно величине комплексного индекса загрязненности воды увеличился.

Загрязнение рек Брекса (Филипповка), Тихая, Ульби (в районе Тишинского рудника) обусловлено историческим загрязнением от породных отвалов. Наряду с историческим загрязнением, оказывающим влияние на качество поверхностных вод, имеет место техногенное загрязнение: в процессе эксплуатации породных отвалов Риддер-Сокольного, Тишинского и Шубинского рудников, Таловского хвостохранилища и др. [2].

Руды Риддер-Сокольного месторождения, Тишинского и Шубинского рудников перерабатываются на Риддерском горно-обогатительном комплексе (далее – РГОК) товарищества с ограниченной ответственностью «Казцинк». Водоотведение шахтных сточных вод РГОК осуществляется в следующие поверхностные водные объекты:

- выпуск №1 в ручей Мартынов ключ: шахтная вода Шубинского рудника после физико-химической очистки на очистных сооружениях отводится сбросным коллектором в металлический лоток, расположенный в естественном понижении рельефа местности, по которому затем стекает к месту выпуска в русло ручья Мартынов Ключ;

- выпуск № 10 в реку Ульбу: сточные шахтные воды Тишинского рудника после физико-химической очистки на станции нейтрализации самотеком, проходя по бетонному каналу, подземному металлическому трубопроводу, выходят на поверхность вблизи русла и сбрасываются в реку Ульбу;

- выпуск № 3 в реку Филипповку. Шахтные воды Риддер-Сокольного месторождения после физико-химической очистки и отстаивания в горизонтальных отстойниках очистных сооружений самотеком по трубопроводу поступают в ручей Зухорд, протекающий по суглинистой ложу и впадающий в реку Филипповку [3].

Большинство очистных сооружений в Казахстане не обеспечивают нормативную очистку сточных вод. Поэтому разработка технологий очистки сточных вод предполагает включение в технологический процесс стадии доочистки на сорбентах, так как применяемые на водоочистных сооружениях технологии очистки не позволяют сегодня получить чистую воду, соответствующую нормам ПДК.

Анализ литературных данных позволяет сделать вывод, что наиболее перспективным и рациональным для доочистки сточных вод является использование природных алюмосиликатов после изменения физической и химической природы поверхности последних. Природные сорбенты естественного происхождения (бентонитовые глины, шунгиты и другие глинистые породы) обладают достаточно высокой сорбционной емкостью, катионообменными свойствами, сравнительно низкой стоимостью и доступностью, особенно в тех случаях, когда месторождения приближены к промышленным предприятиям, на которых могут использоваться данные сорбенты. Благодаря высоким адсорбционным свойствам и высокой водоудерживающей способности, бентонитовые глины и шунгиты, полезные свойства которых определяются специфическими особенностями структуры и уникальной ионообменной способностью, эффективно применяют для очистки воды как от неорганических, так и от органических примесей [4].

В проведенных нами исследованиях были изучены разные сорбенты для доочистки шахтных вод после основной реагентной очистки Риддерского ГОК перед сбросом в реку Зухорд.

Изучена сорбционная способность природных сорбентов – бентонитовой глины 11 горизонта Таганского месторождения Восточно-Казахстанской области и шунгитов Коксуского месторождения Алматинской области.

Таганское месторождение бентонита находится в южной части Зайсанской впадины, в 24 км к юго-востоку от села Акжар Тарбагатайского района Восточно-Казахстанской области. Особенно ценные глины установлены в Таганском месторождении, содержание монтмориллонитовых минералов в них превышает 90 % [5]. В данное время выбранная нами бентонитовая глина 11 горизонта относится к вскрышным породам, поэтому использование этого вида бентонитовой глины считается целесообразным.

Шунгит – это многофазный минерал, основу которого составляет кремнезем и свободный углерод в виде шунгитового аморфного вещества – видоизмененной формы углерода. Сорбционные свойства шунгитов объясняются поглощением сферическими фуллереновыми молекулами различных токсичных веществ [6].

В работе для очистки шахтных вод исследованы коксуские шунгиты (Алматинская область) под названием «Таурит».

В настоящее время установлено, что «Таурит» обладает способностью эффективно очищать природные и сточные воды от загрязнений коллоидной, молекулярной и ионной степени дисперсности: мелкодисперсных взвешенных частиц, бактерий и микроорганизмов, нефтепродуктов, катионов металлов и др. [7].

Для извлечения металлов из шахтных сточных вод также были изучены сорбционные свойства отходов производства минеральной ваты. Она получается расплавом базальтовых горных пород габбро-диабазы карьера Караозек поселка им. Касыма Кайсенова (бывший п. Молодежный) Восточно-Казахстанской области с добавлением доломита (г. Рудный). Отходы производства минеральной ваты образуются при изменении технологических параметров получения минеральных плит (переход из одной плотности в другую) и имеют большие преимущества перед другими материалами: развитую контурную поверхность, малую массу в единице объема, а также такие важные физико-механические характеристики, как механическая прочность и истираемость.

Также были изучены сорбционные свойства золы (крупность – 1 мм), образовавшейся при сжигании угля месторождения «Каражыра».

Были получены ультрадиспергированные сорбенты с использованием процесса механоактивации – высокоэнергетического процесса измельчения исходных материалов в вибрационной мельнице СВУ-2 периодического действия.

Исследование сорбции тяжелых металлов проводили в статическом режиме при постоянном встряхивании, для чего в коническую колбу вносили навеску исследуемого комплексного сорбента и выдерживали в течение заданного времени при комнатной температуре. Время контакта варьировали от 0,5 до 6 ч при соотношении «сорбент: сточная вода» (Т:Ж) 1:100.

После проведения сорбции ионов тяжелых металлов остаточные концентрации ионов тяжелых металлов до и после очистки были определены атомно-абсорбционным методом с помощью масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой ICP-MS Agilent 5700 sx производства компании Agilent Technologies (США).

На основании полученных данных установлено, что в состав изучаемых шахтных вод после основной их реагентной очистки в больших количествах входят ионы марганца и цинка, а также ионы железа, алюминия, никеля.

Результаты проведенных исследований по извлечению меди из шахтных вод разными сорбентами представлены на рис. 1.

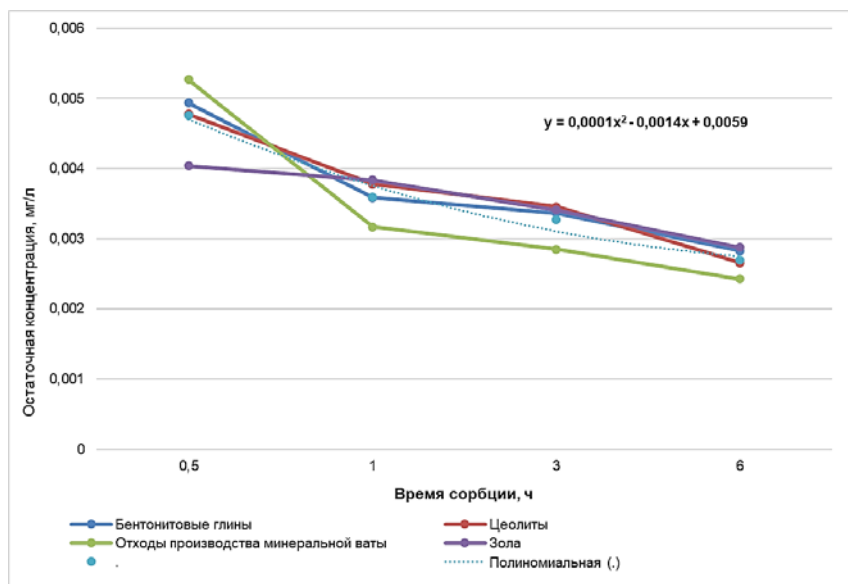


Рисунок 1 – Извлечение ионов меди из шахтных вод разными сорбентами

Математическая обработка результатов (рис. 1) показала, что процесс сорбции ионов меди различными сорбентами подчиняется следующей полиномиальной зависимости:

$$y = 0,0001x^2 - 0,0014x + 0,0059. \quad (1)$$

Результаты проведенных исследований по извлечению цинка из шахтных вод разными сорбентами представлены на рис. 2.

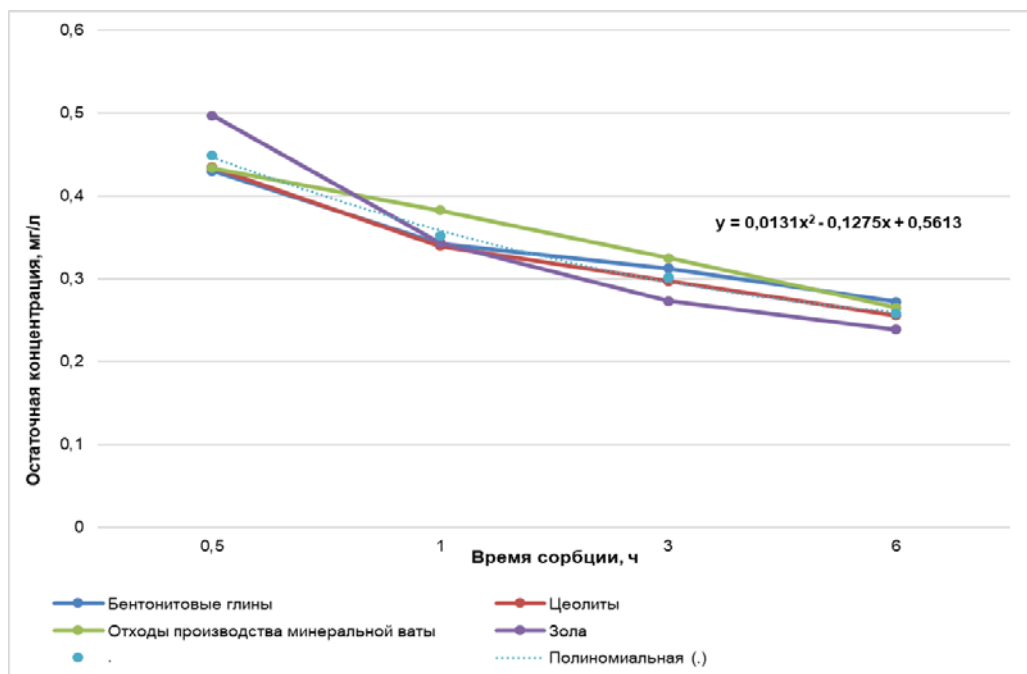


Рисунок 2 – Извлечение ионов цинка из шахтных вод разными сорбентами

Из рис. 2 следует, что остаточная концентрация ионов цинка подчиняется следующей полиномиальной зависимости:

$$y = 0,0131x^2 - 0,1275x + 0,5613 \quad (2)$$

Наибольшая степень очистки от ионов меди достигается при 6-часовом времени контакта сточной воды с отходами производства минеральной ваты, а от ионов цинка – с золой. Дальнейшее увеличение времени перемешивания приводит к значительному расходу электроэнергии.

Выводы. Установлено, что ультадиспергированные шунгиты, отходы производства минеральной ваты и зола являются перспективными материалами для использования их с целью глубокой доочистки шахтных вод. Экономическая целесообразность их применения обусловлена наличием сырьевой базы, легкости их изготовления и дешевизной по сравнению с химическими флокулянтами. Обратная регенерация отработанных сорбентов с целью возврата металлов в производство является предметом дальнейших исследований.

Список литературы

1. Охрана окружающей среды и устойчивое развитие Казахстана 2014-2018: Статистический сборник / Комитет по статистике Министерства национальной экономики Республики Казахстан. – Нур-Султан, 2019 г.
2. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2018 год / Министерство экологии, геологии и природных ресурсов РК. – Нур-Султан, 2019 г.

3. Заключение государственной экологической экспертизы на «Проект нормативов предельно допустимых сбросов (ПДС) загрязняющих веществ, поступающих в водные объекты со сточными водами Риддерского горно-обогатительного комплекса (РГОК) ТОО «Казцинк» на 2017-2026 гг.» № KZ32VCY00073616 от 04.08.2016 года.
4. Гримм Р.Е. Минералогия глин. – М.: Издательство иностранной литературы, 1956. – 568 с.
5. Природные минеральные сорбенты / под ред. Овчаренко В.Д. – М.: Наука, 1960. – 371 с.
6. Столярова Г.В., Бариева Э.Р. Шунгит как эффективный сорбент для очистки сточных вод. – Казань: Казанский гос. энергетич. ун-т, 2014.
7. Чуркина О.С., Конончук О.О., Алексеев А.И. Инновационные технологии применения шунгита в установках очистки воды: сборник докладов круглого стола «Высокие технологии: потенциал и перспективы», Санкт-Петербург, 1 октября 2014 г. – СПб.: СПбГЭУ, 2014. – С. 25-26.

Получено 21.07.2020

МРНТИ 52.01.11

Е.И. Рогов¹, Е.Е. Жатканбаев^{2*}, Ж.К. Жатканбаева³, А.Б. Болатова², Ж.Д. Нурымов²

¹Институт горного дела им. Д.А. Кунаева, г. Алматы

²Казахский университет технологии и бизнеса, г. Нұр-Сұлтан

³Евразийский университет имени Л.Н. Гумилева, г. Нұр-Сұлтан

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБЫЧИ ЗОЛОТА НА РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ СПОСОБАМИ БУЛЬДОЗЕРНО-СКРЕПЕРНЫМ И ПОДЗЕМНОГО СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Способ подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) является одним из экономически выгодных и экологически безопасных способов добычи урана. Анализ основывается на данных математического моделирования выщелачивания золота при различной ширине россыпи и радиусе технологических ячеек. Установлена зависимость себестоимости добычи от ширины россыпи. Способ ПСВ является альтернативным открытому и позволяет вовлечь в отработку россыпи благородных металлов, которые ранее считались экономически и технологически не эффективными.

Жер асты ұңғыманы шаймалау (ЖАҰШ) әдісі – уран өндірудің экономикалық тиімді және экологиялық қауіпсіз әдістерінің бірі. Талдау технологиялық жасушалардың радиусы мен кеңістіктің әртүрлі ені үшін алтынның ерітіндісінің математикалық модельдеуіне негізделген. Өндіріс құнының шашырау еніне тәуелділігі анықталды. ЖАҰШ әдісі ашық әдіске балама болып табылады және бұрын экономикалық және технологиялық тұрғыдан тиімді емес деп саналған асыл металдардың шашырауларын өңдеуге тартуға мүмкіндік береді.

The method of underground borehole leaching (UBL) is one of the economically beneficial and environmentally safe methods of mining uranium. The analysis is based on mathematical modeling of gold leaching for different widths of placers and the radius of technological cells. Dependence of production cost on placer width is established. Thus, the UBL method is an alternative to the open one and allows to involve precious metals in the mining, which previously were considered economically and technologically inefficient.

Ключевые слова: подземное скважинное выщелачивание, открытый способ, экономическая эффективность, россыпь, золото, геотехнология.

С благодарностью и вечной памятью Учителю, наставнику и Человеку с большой буквы академику НАН РК Рогову Евгению Ивановичу. Человеку, создавшему Школу геотехнологии в Республике Казахстан, проложившему путь и направление движения своим последователям.

Введение. Бульдозерно-скреперный или открытый способ разработки россыпей широко применяется во многих странах. Обычно разработка россыпи данным способом ограничивается мощностью торфов до 6-8 м, отсутствием сильной обводненности и валунистости. Суть способа заключается в выемке рудного слоя с места залегания, транспортировки его к месту переработки гравитационным методом и отвалом отработанных пород бульдозерами. В случае погребенности или залегания рудного слоя под слоем настилающих пустых пород (торфов) требуется проведение вскрышных работ – выемка и транспортировка торфов на отвалы, как и рудных песков, посред-

ством бульдозера. Преимуществом бульдозерно-скреперного способа разработки являются сравнительно небольшие капитальные затраты на приобретение горного оборудования, мобильность техники, невысокий удельный расход электроэнергии и простота технологических схем вскрышных и добычных работ. Недостатком данного способа является резкое снижение производительности оборудования при повышенной влажности и крепости горных пород, а также большие расстояния транспортирования пустых пород на отвалы. Оработка блоков, как правило, начинается с наиболее низкой отметки поверхности, ширина блока принимается около 100 м, длина – 200 м [1].

В состав горно-подготовительных работ, в зависимости от горнотехнических условий разработки россыпи и климата района, входят: осушение месторождения; проведение капитальных, разрезных, руслоотводных, дренажных и нагорных канав; очистка земной поверхности от растительности, уборка валунов, снятие плодородного слоя почвы; водоснабжение горных работ (устройство плотин, дамб, зумпфов, отстойников, водозаводных канав); устройство сооружений для очистки сточных вод.

Способ подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) металлов является относительно молодым и перспективным с точки зрения экономичности и меньшей нагрузки на экологию [2]. В настоящее время этот способ применяется только в добыче урана, однако уже ведутся разработки применения этого способа в добыче цветных и благородных металлов [3, 4]. Это свидетельствует о растущем спросе и привлекательности ПСВ. Суть способа заключается в исключении выемки огромных объемов пустых и рудных пород, процессов дробления и складирования пылящих и опасных отвалов, полезные и попутные компоненты переводятся в жидкую фазу на месте залегания, т. е. в рудном горизонте. Выщелачивающие и продуктивные растворы доставляются в рудный горизонт и на поверхность посредством закачных и откачных скважин. Процесс выщелачивания протекает в пористой среде и контролируется только разницей давлений, создаваемых откачными и закачными скважинами [5]. Золотоносные россыпи зачастую находятся в проницаемых и обводненных аллювиальных отложениях, что способствует применению способа ПСВ. В противовес применению открытого способа обводненность залежи и большие объемы вскрышных работ, увеличивающие себестоимость добычи и переводящие данные запасы в разряд нерентабельных, являются положительными критериями для способа ПСВ [6, 7].

Золотоносные россыпи могут быть объединены в четыре геолого-генетические группы [7]: золотоносные россыпи элювиальной коры выветривания, аллювиально-пролювиальные россыпи мелкого и тонкого золота, аллювиальные, прибрежно-морские и техногенные россыпи. Запасы россыпного золота в основном сосредоточены в Южно-Казахстанской и Восточно-Казахстанской областях. Имеются они также в центральном и северных регионах страны и располагаются в труднодоступных и удаленных от инфраструктуры районах. Основные запасы золота из россыпей сосредоточены в малых и средних долинах, характерных для районов предгорий Тянь-Шаньской гряды, гор Каратау и Алтая. В целом по Казахстану известно более 250 месторождений и проявлений россыпного золота. Треть из этих месторождений признаны нерентабельными из-за обводненности и погребенности рудных тел [8].

Проведен расчет экономической эффективности добычи россыпного золота различными способами. К сожалению, в литературе практически отсутствуют данные об экономическом сравнении добычи золота открытым и ПСВ способами. Нами проведен анализ экономической эффективности добычи золота на месторождении россыпного золота. Параметры схем зависят от горно-геологических условий и имеющейся на предприятии техники. Выбор способа разработки, параметров и технологии описан в работах В.Г. Лешкова и К.Н. Костромитинова [1, 9, 10]. В настоящей работе расчеты приводятся лишь для бульдозерного способа разработки, как наиболее распространенного. Рассмотрены 7 вариантов ширины технологических блоков для россыпного месторождения золота без привязки к конкретному месторождению. Поскольку целью работы является сравнение экономических показателей двух способов при различной ширине россыпи, то данные являются условными и к конкретному месторождению не имеют отношения. Приближенные исходные данные были взяты из геологического отчета по месторождению Сухой лог Центрального Казахстана. В табл. 1 представлены технологические параметры месторождения в зависимости от ширины россыпи.

Таблица 1

Технологические параметры месторождения в зависимости от ширины россыпи

Показатели	Номер скважины						
	1	2	3	4	5	6	7
№ блока	0	1	2	3	4	5	6
Мощность торфов, м	6,2	5,6	4,8	5,5	5,3	5,7	6,2
Мощность пласта, м	0,6	1,8	1,4	1	0,8	1,3	0,6
Расстояние между разведочными скважинами, м	20	20	20	20	20	20	20
Ширина россыпи, м	20	40	60	80	100	120	140
Содержан. металла, г/м ³	2,5	2,13	1,05	3,61	1,08	3,82	3,52
Сечение торфов, м	153	265	361	471	577	691	815
Объем вскрыши, м ³	99450	172250	234650	306150	375050	449150	529750
Сечение добычн. забоя, м ²	24	60	88	108	124	150	162
Объем добычи, м ³	15600	39000	57200	70200	80600	97500	105300
Запасы металла, г	22914	54539	66664	96441	103568	144530	161951

Бульдозерно-скреперный способ. Известно, что с возрастанием ширины блока при отработке россыпных месторождений увеличивается холостой прогон бульдозеров и самосвалов, что повышает себестоимость разработки и металла. Экономическая оценка целесообразности разработки россыпи производится с учетом затрат на горно-подготовительные и добычные работы, промывку песков, вскрышные работы, капитальные вложения, налоги и прочие, связанные с обеспечением деятельности предприятия. Цена на золото принята 1250 \$/тр.унция, курс доллара 335 тг/\$.

В табл. 2 сведены затраты на разработку блоков в зависимости от ширины контура.

Таблица 2

Затраты на разработку блоков открытым способом в зависимости от ширины контура

№ блока	0	1	2	3	4	5	6
Ширина россыпи, м	20	40	60	80	100	120	140
Интервал между разведочными скважинами	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7	7–8
Объем горно-подготовительных работ (ГПР), м ³	86867	90517	93692	97830	101296	105144	109084
Трудозатраты, ч	4539	9091	13221	17512	21867	27653	33036
Добыча и промывка	1780	4458	6557	8079	9319	11334	12317
Вскрыша	1919	3758	5758	8487	11568	15302	19664
Горно-подготовит.	840	875	906	946	980	1017	1055
Стоимость							
На промывку, \$	19290	48226	70731	86807	99667	120565	210600
На разработку песков \$	54495	138143	207102	261723	311261	391836	714671
На вскрышу торфов, \$	443945	902155	1401764	2073125	2835283	3757306	7866639
На ГПР, \$	10899	27628	41420	52344	62252	78367	142934
Капитальные затраты, \$	36893	93185	138917	174265	205464	256201	462635

Окончание таблицы 2

№ блока	0	1	2	3	4	5	6
Всего затрат, \$	565 523	1 209 338	1 859 935	2 648 264	3 513 928	4 604 276	9 397 629
Продукция, \$	920 877	2 191 835	2 679 119	3 875 809	4 162 232	5 808 429	6 508 552
Прибыль, \$	355353	982496	819184	1227544	648304	1204153	-2889076
Чистая прибыль, \$	230980	638622	532469	797904	421397	782699	395215
Себестоимость добычи, \$/м ³	3,49	3,54	3,62	3,73	3,86	4,02	6,787
Себестоимость вскрыши, \$/м ³	4,46	5,24	5,97	6,77	7,56	8,37	14,85
Минимальное содержание, г/м ³	0,614	0,552	0,694	0,683	0,844	0,793	0,893
Бортовое содержание, г/м ³	0,614	0,509	0,642	0,638	0,795	0,749	0,849
Себестоимость добычи, \$/гAu	24,68	22,17	27,90	27,46	33,93	31,86	58,03

Как видно, затраты увеличиваются от 565 до 9397 тыс. \$. Наибольшую прибыль предприятие имеет при ширине россыпи 40 м, а его рентабельная работа ограничивается 80 м. Общая тенденция к снижению прибыли с увеличением ширины россыпи объясняется увеличением объемов вскрышных работ и снижением производительности бульдозеров, схожее мнение представили авторы Кавчик Б.К. и Неретин А.В. в своих работах, где указывается на возможность увеличения прибыльности добычи путем повышения эффективности горных работ, но не рассматривается вариант применения другого способа – ПСВ.

Ниже приведены данные расчетов дохода и прибыли при добыче золота бульдозерно-скреперным способом при различных значениях ширины россыпи.

Чистый доход при ширине россыпи 20 м составляет 151 тыс. \$.

Таким же образом рассчитываем доходы и расходы для 40, 100, 140 м. при ширине россыпи 40 м чистый доход составит 465,9 тыс. \$; при ширине россыпи 100 м и более добыча золота не рентабельна, а убыточна; при ширине россыпи 140 м убытки составят 4 263 тыс. \$.

Метод подземного скважинного выщелачивания. Добычу золота ПСВ проводили при технологических параметрах, представленных в таблице 3. Указано количество скважин в зависимости от ширины россыпи, радиуса ячейки и другие важные параметры проведения процесса.

Таблица 3

Технологические параметры ПСВ золота при различной ширине россыпи

Блок	0	1	2	3	4	5	6
Интервал между скважинами, м	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
Ширина россыпи, м	20	40	60	80	100	120	140
Запасы металла, г	22914	54539	66664	96441	103568	144530	161951
Горнорудная масса (ГРМ), т	25740	64350	94380	115830	132990	160875	173745
Длина блока, м	1300	542	681	877,5	1007,5	625	1254
Радиус ячейки, м	20	40	30	40	33	40	35
Кол-во рядов	1	1	2	2	3	3	4
Кол-во закачных	262	58	142	136	254	134	368
Кол-во откачных	65	14	46	44	93	48	144
Кол-во наблюдательных	20	5	12	12	23	12	41
Всего скважин	347	77	200	192	370	194	553
Удельн. площ. на 1 скваж., м ² /шт	74,9	281,6	204,3	365,4	272,2	386,6	317,2

Схема вскрытия принята гексагон с различным радиусом ячеек в 1 ряд (рис. 1) и в 2 ряда (рис. 2).

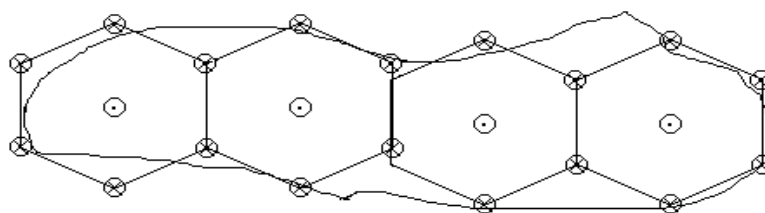


Рисунок 1 – Гексагональная схема вскрытия россыпи сетью скважин в 1 ряд

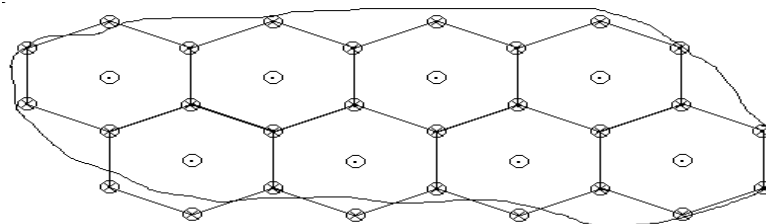


Рисунок 2 – Гексагональная схема вскрытия россыпи сетью скважин в 2 ряда

В табл. 4 приведены данные расчета затрат на добычу золота способом ПСВ, определенные на основе технологических параметров, представленных в табл. 1 и 3. Данный расчет основывается на применении технологии выщелачивания золота раствором тиомочевины в кислой среде. Расход принят из расчета достижения степени извлечения в пределах 90 % при Ж:Т = 9 (при выщелачивании урана Ж:Т = 4,2 при степени извлечения 90 %), удельный расход кислоты (серная кислота) и тиомочевины составляет 60 кг/тонну ГРМ и 130 кг/тонну ГРМ соответственно. Цены установлены в пределах 66 \$/тонну смеси кислоты и тиомочевины. Расчеты математической модели добычи золота проведены для 7 вариантов в зависимости от ширины россыпи, радиуса ячейки и количества рядов, результаты представлены в табл. 4. В зависимости от радиуса ячейки срок отработки увеличивается с ростом радиуса и соответственно операционные затраты будут возрастать.

Таблица 4

Математическая модель добычи золота способом ПСВ на блоке 0 при ширине россыпи 20 м, радиус ячейки 20 м, в 1 ряд

Наименование показателей	Единица измерения	План на год	1-й год, в том числе по месяцам					
			январь		февраль		март	
количество дней	тонн		15	16	14	14	15	16
горно-рудная масса	г		25 740					
запасы	шт		22 914,3					
закачных	шт		262					
откачных	шт		65					
наблюдательные			20					
Ж:Т суммарный			2,27	4,70	6,82	8,94	8,94	8,94
Ж:Т в месяц			2,27	2,42	2,12	2,12	0,00	0,00
кол-во ПР на закисление	м ³	58 500	58 500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
кол-во ПР на выщелачивание	м ³	171 600	0,00	62 400	54 600	54 600	0,00	0,00
кислотность ВР при закислении	г/дм ³		10,00					
кислотность ВР при выщелачивании	г/дм ³			20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
расход кислоты (технич 92,5 %) на закисление	тонн	632,43	632,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Окончание таблицы 4

Наименование показателей	Единица измерения	План на год	1-й год, в том числе по месяцам					
			январь		февраль		март	
расход кислоты (техн 92,5 %) на выщелачивание	тонн	3 710	0,00	1 349	1 180	1 180	0,00	0,00
расход кислоты на переработку (тех 92,5 %)	тонн	30 506	0,00	18 205	7 681	4 620	0,00	0,00
общий расход кислоты (технич 92,5 %)	тонн	34 849	632,43	19 554	8 861	5 800	0,00	0,00
степень извлечения	%		0,00	59,01	83,91	98,88	98,88	98,88
содержание Me в ПР	мкг/дм ³			216,69	104,49	62,85		
металл в ПР	г	22 658	0,00	13 521	5 704	3 431	0,00	0,00
выпуск металла в десорбат	кг	21 706	0,00	12 953	5 465	3 287	0,00	0,00

Основываясь на математической модели добычи, были рассчитаны экономические параметры и для других ячеек: затраты увеличиваются с 780 до 2744 тыс. \$, но себестоимость снижается с 28 до 8,17 \$/г золота за счет снижения стоимости ГПР, связанного с уменьшением удельного количества скважин. Характерной особенностью ПСВ является сокращение сроков отработки с увеличением удельного количества скважин на блоке, т.е. с уменьшением расстояний между скважинами. Инвестиционный анализ добычи россыпного золота способом ПСВ показывает, достаточно конкурентоспособные результаты финансово-экономического моделирования. По показателю NPV (ставка дисконтирования) при ширине россыпи 20 м ПСВ метод уступает открытому способу (ОС - бульдозерно-скреперная разработка) почти в 2 раза, и NPV составляет 134,8 тыс. \$ США против 70,5 тыс. \$ при ставке 12,5 % и 129,0 тыс. \$ при ОС против 67,5 тыс. \$ при ПСВ. Однако при увеличении ширины россыпи более 40 м NPV для способа ПСВ в 1,5 и даже в 10 раз больше, нежели для ОС. Также необходимо указать на тот факт, что при ширине более 80 м ОС показывает убыточность проекта, а при ПСВ значительный рост прибыльности добычи. Анализ чувствительности прибыльности способа ПСВ на уменьшение цен на золото более чем на 20 % с одновременным увеличением капитальных и операционных затрат более 10 % приводят к отрицательным показателям, т.е. убыточности проекта, только при ширине россыпи 20 м.

При ширине 40 м и более падение цен на золото и увеличение затрат более чем на 30 % не влияют на показатель NPV, он всегда положителен и варьируется в пределах от 279 000 до 3 170 000 \$. Такое же изменение цен и затрат при ОС всегда влечет убыточность добычи.

Выводы. Таким образом, предварительное технико-экономическое обоснование добычи золота бульдозерно-скреперным и ПСВ способами показало, что способ подземного скважинного выщелачивания значительно более выгоден и менее чувствителен к изменениям цен на золото и увеличению затрат при ширине россыпи более 40 м, чем открытый бульдозерно-скреперный способ. Ряд месторождений россыпного золота сочетает в себе россыпи практически на поверхности без обводнения и погребенные с обильным водопитоком. Разработка этих месторождений с применением только одного способа не эффективна и не выгодна. Выход из данной ситуации возможен в сочетании открытого способа и ПСВ, что может сильно увеличить привлекательность многих месторождений для инвесторов.

Список литературы

1. Catchpole Glenn, Kirchner Gerhard. Restoration of Groundwater Contaminated by Alkaline In-Situ Leach of Uranium Mining. // Uranium Mining and Hydrogeology: proceedings of GeoCongress 1. – Köln, Germany, 1995. – P. 81-89.
2. Szymanski W.N. Energy Information Administration. // Uranium Industry Annual. – 1993. – N14. – P. 238-246.
3. Пат. 2516423 РФ. Способ подземного выщелачивания окисленных никель-кобальтовых руд / Гребнев Г.С., Савеня М.Н., Суклета С.А., Савеня Н.В.; опубл. 20.05.2014. Бюл. № 5.
4. Engelman W.H., Phillips P.E., Tweeton D.R., Loest K.W., Nigbor M.T. Restoration of Groundwater Quality Following Pilot-Scale Acidic In-Situ Uranium Leaching at Nine-Mile Lake Site Near Casper

Wyoming // *Society of Petroleum Engineers Journal*. – 1982. – № 22. June. – P.382-398. – Document ID SPE-9494-PA.

5. Беспяев Х.А., Аубекеров Б.Ж., Абишев В.М., Жаутиков Т.М., Степаненко Н.И., Гуськова А.И., Жакупова Ш.А. Россыпи золота Казахстана: Справочник. – Алматы: 1999. – 228 с. – <http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-rossypi-zolota-kazahstana-spravochnik.pdf>.
6. Ваулин О.В. Алматинская область. Золото: Справочник. – Алматы-Бишкек: Рокизол, 2016. – 124 с.
7. Фазлуллин М.И., Авдонин Г.И., Савченко Г.А. Перспективы скважинного подземного выщелачивания золота в глубоко погребенных россыпях России, Кыргызстана и Казахстана // Горно-информационный аналитический бюллетень. – 2012. – № 7. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-skvazhinnogo-podzemnogo-vyschelachivaniya-zolota-v-gluboko-pogrebennyh-rossyruah-rossii-kyrgyzstana-i-kazahstana>.
8. Петросов А., Фелелов А. Экономика и организация разработки россыпных месторождений золота артелями. – М.: МГУ, 2004. – 324 с.
9. Лешков В.Г. Разработка россыпных месторождений. – М.: Недра, 1985. – 568 с.
10. Костромитинов К.Н., Лысков В.М. Оценка эффективности отработки месторождений драгоценных металлов. – Иркутск: БГУЭП, 2015. – 530 с.

Получено 21.07.2020

МРНТИ 38.33

О.В. Фролова, Б.Б. Амралинова, Б.Б. Ағалиева, Б.А. Дьячков, И.Е. Матайбаева, Н.А. Зимановская

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

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ДЕЛЬБЕГЕТЕЙСКОГО ОЛОВОРУДНОГО УЗЛА (ЗАПАДНАЯ КАЛБА)

Рассматриваются особенности геологического строения и рудоносности Дельбегетейского гранитоидного массива Западной Калбы, сформированного в герцинский цикл в постколлизивной (орогенной) геодинамической обстановке пермского времени. Приводятся минералогическая характеристика гидротермально-метасоматических образований, генетически связанных с гранитами дельбегетейского комплекса. Подчеркивается развитие в минеральных комплексах редко встречающихся минералов – изумруда, аквамарина, аксинита, а в миароловых гнездах гранитов – кристаллы топаза, аквамарина, мориона, турмалина, которые являются поисковыми индикаторами редкометалльного рудообразования. Дается обоснование перспектив южного экзо-контакта Дельбегетейского массива на выявление скрытного редкометалльного оруденения и золота.

Пермь уақытының коллизиядан кейінгі (орогендік) геодинамикалық жағдайында герцин циклінде қалыптасқан Батыс Калбаның Делбегетей гранитоид массивінің геологиялық құрылымы мен кенінің ерекшеліктері қарастырылады. Делбегетей кешенінің граниттерімен генетикалық байланысты гидротермалды-метасоматикалық түзілімдердің минералды-геохимиялық сипаттамалары келтірілген. Сирек кездесетін минералдардың минералды кешендерінде – изумруд, аквамарин, аксиниттің дамуы, ал граниттердің миарол ұяларында – топаз, аквамарин, морион, турмалин кристалдары, олар сирек кездесетін кен түзілімдерінің іздеу индикаторлары болып табылады. Делбегетей массивінің оңтүстік экзо-байланысының перспективалары сирек кездесетін металлдар мен алтынды анықтауға негізделген.

The features of the geological structure and ore content of the Delbegetey granitoid massif of the Western Kalba formed during the Hercynian cycle in the post-collisional (orogenic) geodynamic environment of the Permian time are considered. The mineralogical and geochemical characteristics of hydrothermal-metasomatic formations that are genetically related to granites of the delbegetey complex are given. The development of rare minerals such as emerald, aquamarine, and aksinite in mineral complexes is emphasized, while crystals of Topaz, aquamarine, Morion, and tourmaline are search indicators of rare – mineral ore formation in miarol nests of granites. The prospects of the southern Exo-contact of the Delbegetey massif for revealing hidden rare-metal mineralization and gold are substantiated.

Ключевые слова: Западная Калба, Дельбегетейский массив, граниты, грейзены, гидротермалиты, редкие металлы, оценка перспектив.

Дельбегетейский рудный узел расположен в Западно-Калбинской металлогенической зоне Восточного Казахстана, охватывает эндо- и экзоконтактовые зоны одноименного гранитного массива, входящего в состав Семипалатинско-Бурган-Бурганского гранитоидного пояса северо-западного направления [1,2]. Характеризуется развитием грейзеновых и кварцевожильных оловянных месторождений и рудопроявлений (Кызылжал, Шерловое, Аркат и др.), а также проявлением оловянных руд повышенной сульфидности (типа минерализованных зон), наложенных на дайки кунушского комплекса (Юбилейный Октябрь). Рассматриваемые объекты разрабатывались ещё древними рудокопами, а в современное время старательской артелью производилась разработка Изумрудного рудопроявления. Большой вклад в изучение данных объектов внесли В.Ф. Кашеев, А.Р. Бутко, А.Г. Алексеев, М.П. Материки и других геологов.

Главная задача исследования заключалась в выявлении типоморфных минералов и элементов-индикаторов скрытого оловянного оруденения в гидротермально-измененных породах, развитых в южном экзоконтакте гранитного массива. Уточнялись также корреляционные связи группы сульфидных элементов (Cu, Pb, Zn, As и др.) и редких металлов (Sn, Be, Li, Mo и др.). Производилось изучение распределения редких элементов в озерах Дельбегетейского района.

Геолого-структурные особенности. В тектоническом плане Дельбегетейский массив центрального типа приурочен к узлу пересечения широтного, меридионального и северо-западного глубинных разломов, активизация которых сопровождалась неоднократным поступлением гранитных расплавов и метасоматическими преобразованиями гранитов и вмещающих осадочных пород надинтрузивной зоны (рис. 1).

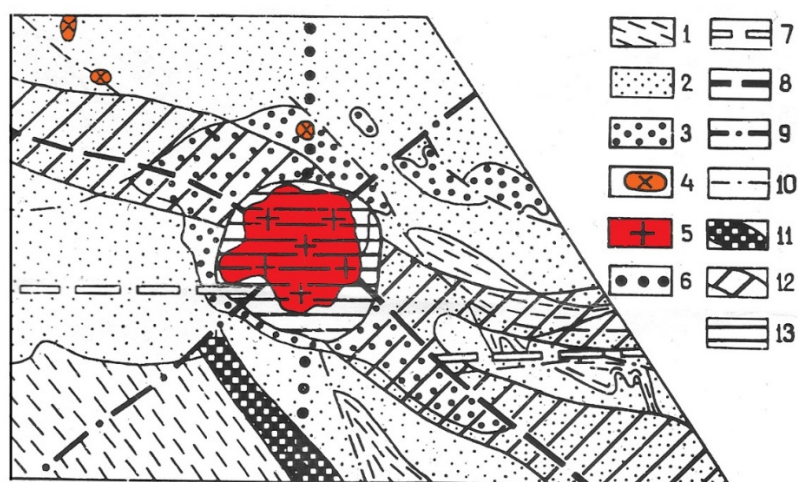


Рисунок 1 – Геолого-структурная позиция Дельбегетейского оловянного узла: 1,5 – геологические формации (1 – карбонатно-терригенная, аркалыкская свита, C_{1v2-3} ; 2 – граувакковая алеволито-песчаниковая, аганактинская свита, C_{1s} ; 3 – конгломерато-песчаниковая молассовая, буконьская свита, C_{2-3} ; 4 – малые интрузии плагиогранит-гранодиоритовой формации, кунушский комплекс, C_3 ; 5 – гранит-лейкогранитовая, дельбегетейский комплекс, P_2); 6-9 – глубинные разломы (6-7 – ортогональные долготно-широтные, 8-9 – продольно-поперечные); 10 – мелкие разрывы; 11-13 – рудоносные структуры (11 – фрагменты Чарской хром-кобальт-никель-ртутной зоны, 12 – Западно-Калбинская золото-сульфидная зона, 13 – оловянный узел). Используются геофизические материалы Г.П. Нахтигала

В геологическом строении развиты терригенные отложения аганактинской (C_{1s}) и буконьской (C_{2-3}) свит, перекрытых рыхлыми осадками неогеновой и четвертичной систем. Интрузивные образования представлены дайками габбро-диабазов аргимбайского комплекса (C_{2-3}), малыми интрузиями и дайками кунушского комплекса (C_3) и гранитоидами дельбегетейского комплекса (P_2).

Принципиальное значение имеют геологические доказательства о более раннем верхнекаменноугольном (догранитном) возрасте порфировых даек кунушского комплекса, которые прорывают осадочную толщу буконьской свиты (C_2), а сами срезаются и метаморфизуются гранитами Дельбегетейского массива с наложением на дайки сульфидно-касситеритовой минерализации (Юбилейный Октябрь). В свою очередь, эти дайки и их тонкие апофизы пересекают габбро-диабазы аргимбайского комплекса (C_{2-3}). Верхнекаменноугольная датировка кунушского комплекса подтверждается радиологическими исследованиями прошлых лет и новыми результатами анализов [3].

В строении Дельбегетейского массива выделяются три интрузивные фазы со своей рудоносностью: 1) граносиенитовая (оруденение не проявлено); 2) гранитовая (Sn, Be) и 3) лейкогранитовая (Sn). Построенная геолого-генетическая модель отражает вертикальную зональность проявления метасоматических процессов и оруденения в фильтрующей колонке, последовательную смену рудных формаций и минеральных типов оловянных руд (рис. 2).

Граносиенитовая фаза по характеру щелочности относится к субщелочной группе пород и по вещественному составу сопоставляется с буранским комплексом, геохимически специализированным на Ti, Zr [4].

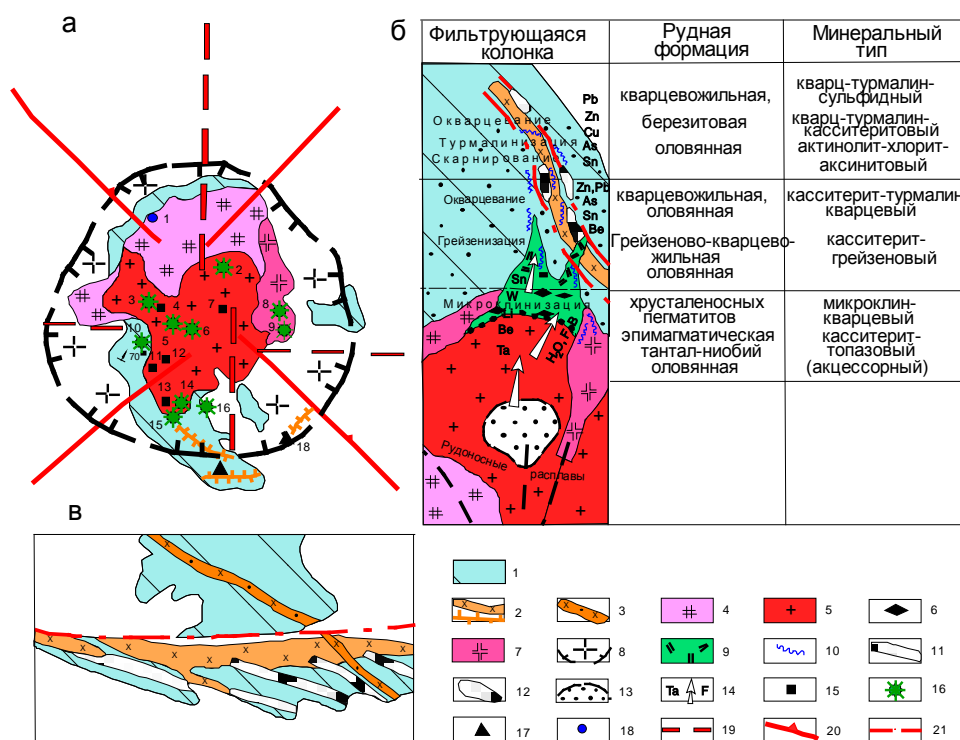


Рисунок 2 – а – геологическая схема-план, б – схема зональной рудной колонки, в – месторождение Юбилейный Октябрь: 1 – конгломерато-песчаниковые отложения буконьской свиты, C_2 ; 2-3 – кунушский комплекс, C_3 ; 2 – гранит-порфиры, кварцевые порфиры, 3 – гранодиорит-порфиры; 4-8 – дельбегетейский комплекс, P_1 , 4 – монцитоны, граносиениты I фазы, 5 – среднезернистые порфировидные и 6 – микроловые граниты II фазы, 7 – лейкограниты III фазы, 5 – контур гранитного массива на глубине (по геофизическим данным); 9 – грейзенизация; 10 – оловоносные кварцевые жилы и прожилки; 11 – скарнирование; 12 – зоны сульфидно-касситеритового оруденения; 13 – эманационный ореол рудоносной интрузии; 14 – направление движения рудогенных элементов; 15-18 – проявления олова: 15 – грейзеново кварцево-жилные, 16 – кварцево-жилные, 17 – сульфидные и 18 – олово-полиметаллические; 19 – глубинные разломы по геолого-геофизическим данным каледонские и 20 – герцинские; 21 – мелкие разрывы

Рудовмещающими являются среднезернистые биотитовые миароловые граниты II фазы, состоящие из калиевого полевого шпата (36,1 %), кислого плагиоклаза (31,5 %), ксеноморфного кварца (30 %), биотита (2,3 %) и акцессориев (0,1 %). Средний состав отвечает нормальным гранитам плюмазитовой серии с общей железистостью $f = 79,25$ и содержанием F 0,4 %. Для этих гранитов характерны миароловые гнезда, содержащие идиоморфные кристаллы мориона, раухтопаза, микроклина, шерла, топаза и аквамарина, крупные пластины мусковита (рис. 3). Указанные минералы типичны для миароловых гранитных пегматитов и рассматриваются в качестве индикатора редкоментального оруденения [5-7].

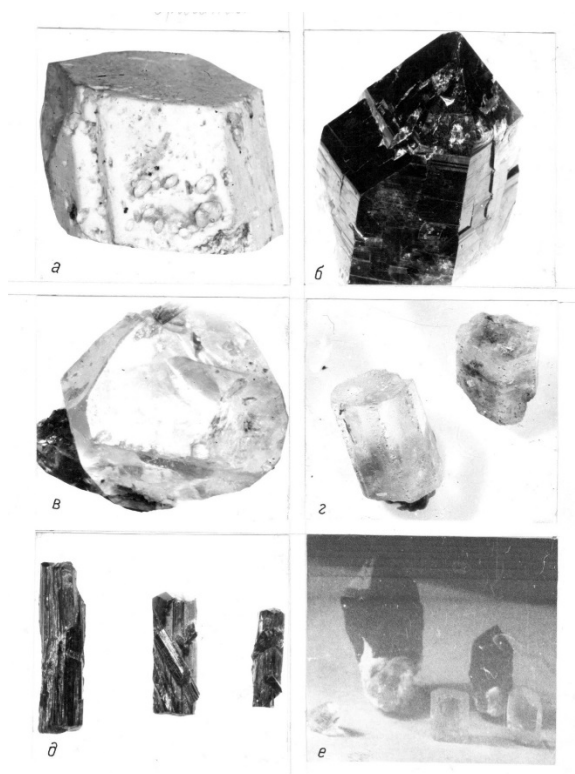


Рисунок 3 – Морфологические типы кристаллов из миароловых гнезд: а – короткопризматический кристалл микроклина с наросшими зернами топаза; б – морион пирамидально-призматической формы; в – прозрачный топаз тетраэдрической формы; г – призматические кристаллы аквамарина; д – призматические кристаллы турмалина различных зарождений с вертикальной штриховкой; е – сростки мориона и топаза. Увел. в 1,5 раза

Геохимически в миароловых гранитах повышены кларки концентрации Pb в 7,4 раза, Sn в 2,7 раза, Mo, Li, Nb, Yb (2-3 раза), а в слюдах их миароловых гнезд и оловоносных грейзенов установлены высокие содержания фтора – 2,4...5,2 %.

Метасоматические образования. Формирование гранитного массива сопровождалось контакто-метасоматическим преобразованием вмещающих пород, состав которых оказал существенное влияние на минеральные типы метасоматитов и их рудоносность.

Особое внимание обращается на скарнирование известковистых песчаников буконьской свиты с образованием в них вторичных минералов – моноклинного пироксена, хлорита, актинолита, эпидота, карбоната и аксинита. Аксинит – алюмоборосиликат формула $\text{Ca}_2\text{Fe}^{+2}\text{Al}_2[\text{BSi}_4\text{O}_{14}](\text{OH})$, относится к редко встречающимся минералам, образуется обычно в скарнах, гидротермальных и метаморфических образованиях. На Дельбегетейском участке этот минерал обнаружен в скарнированных известковистых песчаниках буконьской свиты в ассоциации с актинолитом и хлоритом. Представлен хорошо развитыми кристаллами сиреневой окраски.

Полосы амфиболитизированных песчаников прослеживаются в длину на несколько километров при мощности 1...20 м. Они приурочены к зонам повышенной трещиноватости, брекчирования и связаны с контактово-гидротермальным воздействием скрытых гранитных апофиз. Макроскопически это породы светло-серой и зеленовато-серой окраски, массивной текстуры и микрогранобластовой структуры. Петрохимически, по сравнению с неизмененными песчаниками, в них отмечается дефицит SiO_2 (52...56 %), щелочей и привнос Ca , Mg , Fe^{2+} . Геохимическая специализация проявляется в привносе Sn (до 0,01...0,2 %), Zn (до 0,1 %), Li (0,05 %), Cu (0,01 %).

В гидротермально-измененных обохренных песчаниках, развитых в районе месторождения Юбилейный Октябрь, установлены повышенные содержания (г/т): Cu (412), As (313), Sn (2378) при высокой положительной корреляции $\text{Sn} \rightarrow \text{As}$ (+0,64), Mo (+0,72). Аномальные концентрации Sn (4636), As (507) и Cu (805 г/т) фиксируются также в кварц-турмалиновых, кварц-турмалин- и аксинит-хлорит-актинолитовых метасоматитах, проявленных соответственно в Южной, Центральной и Кривой зонах. В этих образованиях, типичных для верхней части рудоносной колонны, выявлена положительная корреляция $\text{Sn} \rightarrow \text{Mo}$ (+0,50), Sn (+0,58) при надкларковых значениях Cu , Zn , Ni , Cr . Отмечаются также положительные связи $\text{Li} \rightarrow \text{Zr}$ (+0,79), Mo (+0,73), As (+0,62).

Для аксинит-хлорит-актинолитовых метасоматитов установлена высокая корреляция Sn с Zn , As (+0,89), Li (+0,62), Mn (+0,55). Количественным спектральным анализом штучных проб установлено Sn (от 0,1 и более 0,3 %), Be (от 0,008 и более 0,3 %), Li (0,02...0,1 %). Касситериты содержат примеси Cu (0,4 %), Zn (0,1 %), As (0,15 %) и являются не танталоносными ($\text{Ta}_2\text{O}_5 < 0,001$ %), $\text{Nb}_2\text{O}_5 < 0,003$ %). Они ассоциируют с турмалином (шерлом), содержащим Sn (0,08...1 %, среднее 0,179), As (0,06 %).

Кварц-турмалиновые метасоматиты на месторождении Юбилейный Октябрь локализуются преимущественно в кварц-полевошпатовых порфирах и гранит-порфирах. Петрохимически их образование сопровождалось выносом щелочей, в меньшей степени кремнезема. Геохимически характеризуются привносом Sn , Bi , As , а также Cu и Pb . Олово имеет сильные связи с Li (+0,79) и слабую корреляцию с As (+0,37), Pb (+0,32), Cu (+0,29). Турмалин содержит повышенные концентрации Sn (0,1 – 0,15 %), As (0,05 – 0,1 %), Zn (0,05 %), Cu (0,06 %).

Месторождение Юбилейный Октябрь в целом подчеркивается ореолами Sn , As , Pb , Cu . По данным количественных спектральных анализов (18 проб) все жилы руд характеризуются в среднем невысокими содержаниями Cu (0,05 %), Pb (0,03 %), Zn (0,015 %) и As (0,17 %). Средние значения Ta_2O_5 и Nb_2O_5 (по 17 анализам) для метасоматитов также невысокие (0,0017 и 0,0058 %).

Рассмотренные метасоматические образования сформировались в надintruzивной зоне Дельбегетейского гранитного массива по вмещающим осадочным породам буконовской свиты и дайкам кунушского комплекса, характеризуются повышенной оловоносностью и отражают верхнюю часть рудоносной колонны. Минералами-индикаторами оловянного оруденения в зонах минерализации являются кварц, пирит, арсенопирит, турмалин и аксинит, что свидетельствует о проявлении преимущественно сульфидно-касситеритовой стадии рудообразования Дельбегетейского рудного узла. Четко проявлена генетическая связь всех типов оловянного оруденения с гранитами дельбегетейского комплекса, базирующаяся на геолого-структурных и минералого-геохимических критериях. Приводятся примеры некоторых оловорудных объектов.

Рудопроявление *Кызылжал* расположено в южном эндоконтакте гранитного массива, представлено мусковит-кварцевыми грейзенами с касситеритом, топазом и флюоритом. Петрохимически они отличаются от вмещающих гранитов II фазы привносом Si , F и выносом щелочей. Геохимически грейзены имеют высокие содержания Sn (0,364 %), Li (0,11 %) и повышенные кларки концентрации Bi , Li , Ge . Олово здесь имеет крайне неравномерное распределение и не образует заметной корреляции с элементами сульфидной группы и Li , Nb , Y . Положительная связь установлена для $\text{Li} \rightarrow \text{V}$ (+0,62). Макроскопически грейзены – это мелкозернистые сливные, существенно кварцевые образования с мелкой сыпью черного касситерита. Более поздние прожилки стекловидного и друзового кварца содержат зерна синего флюорита и коричневого касситерита (размером до 3-4 мм в поперечнике). На растровом электронном микроскопе определены микровключения касситерита, приуроченные к железистому минералу (предположительно ферросилит – FeSiO_3) (рис. 4). На рудопроявлении сохранились выработки древних рудокопов.

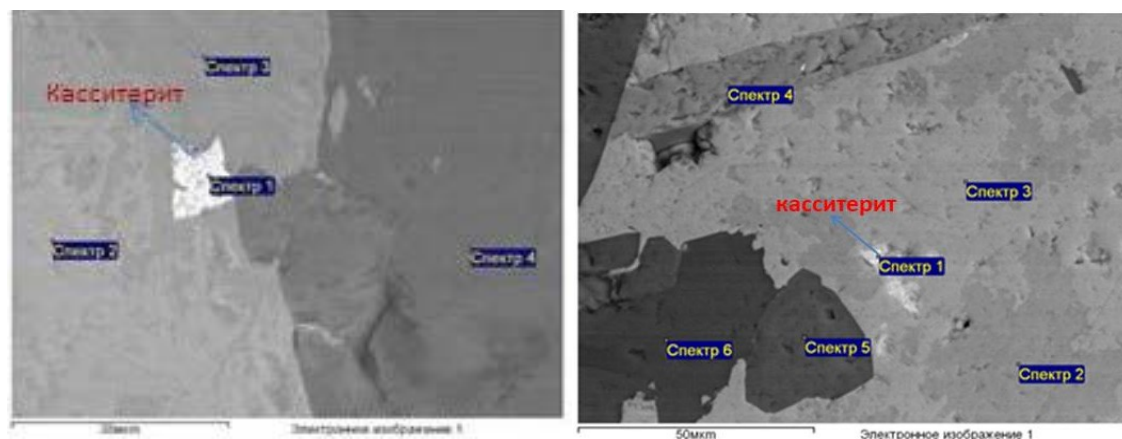


Рисунок 4 – Микровключения касситерита в ферросилите (?) в ассоциации с кварцем и ильменитом.
(Аналитик А. Садибеков)

Интересные результаты получены при анализе распределения редких элементов в разновидностях берилла различных минеральных комплексов, различающихся по окраске и другим признакам. Берилл из блоковых микроклиновых пегматитов Калбы зеленовато-серой окраски характеризуется наиболее высоким содержанием Be и низкими значениями Ta и Nb. Аквамарины Дельбегетейского участка обогащены Ta, Nb, в них больше Sn и особенно Cr, что объясняет их окраску цвета морской воды. Изумруды еще в большей степени обогащены Cr (636,4 г/т). Для сравнения в бериллах Коктогайского пегматитового поля (Китай) голубого цвета повышены содержания Ta, Nb, W и меньшие значения Be, а бериллы белого цвета характеризуется концентрацией Cs (15220 г/т) и Li (6782 г/т). Как видно, окраска кристаллов берилла может служить поисковым индикаторным признаком в редкометалльных района.

Производилось также изучение распределения редких элементов в озерах на площади изучаемого района. По результатам анализов, выполненных в лаборатории Водоканала (г. Усть-Каменогорск), в водах преобладают в основном (мг/дм³): сульфаты (86,1-101,8), гидрокарбонаты (250,1-1256,6) при невысоком содержании нитратов и железа. Воды характеризуются натриевой щелочностью и преобладанием ионов Cl⁻ над F⁻. По данным масс-спектрометрии (лаборатория «VERITAS» ВКТУ) в них отмечают повышенное содержание (мкг/л): As (до 186,38), Al (до 692,90), P (до 174,5-366,0), B (1204,67) и обогащенность Li (386,7). Эти показатели увязываются с минеральным составом редкометалльных объектов Дельбегетейского рудного узла, в которых распространенными минералами являются турмалин, мусковит, актинолит, хлорит, флюорит, аксинит и сульфиды.

Оценка перспектив. Выполненные исследования показывают, что минералами-индикаторами для прогнозирования и поиска оловорудных грейзенов в гранитоидах являются топаз, флюорит, турмалин и берилл. К индикаторам метасоматических образований с сульфидно-касситеритовой минерализацией, развитых в экзоконтакте Дельбегетейского массива, относятся касситерит, оловоносный турмалин, кварц, аксинит и актинолит. Элементы-индикаторы сульфидно-оловянного оруденения – Sn, Bi, As, Ag, Cu. С этих позиций определена перспективная оценка Дельбегетейского участка, рекомендуемого для поисковых работ. Наиболее перспективным представляется месторождение Юбилейный Октябрь, объединяющее три типа оловянных руд: 1) кварц-турмалин-сульфидный (по песчаникам и алевролитам); 2) актинолит-аксинитовый (по песчаникам и конгломератам повышенной известковистости) буконьской свиты; 3) кварц-турмалиновый по порфировым дайкам кунушского комплекса (рис. 5)

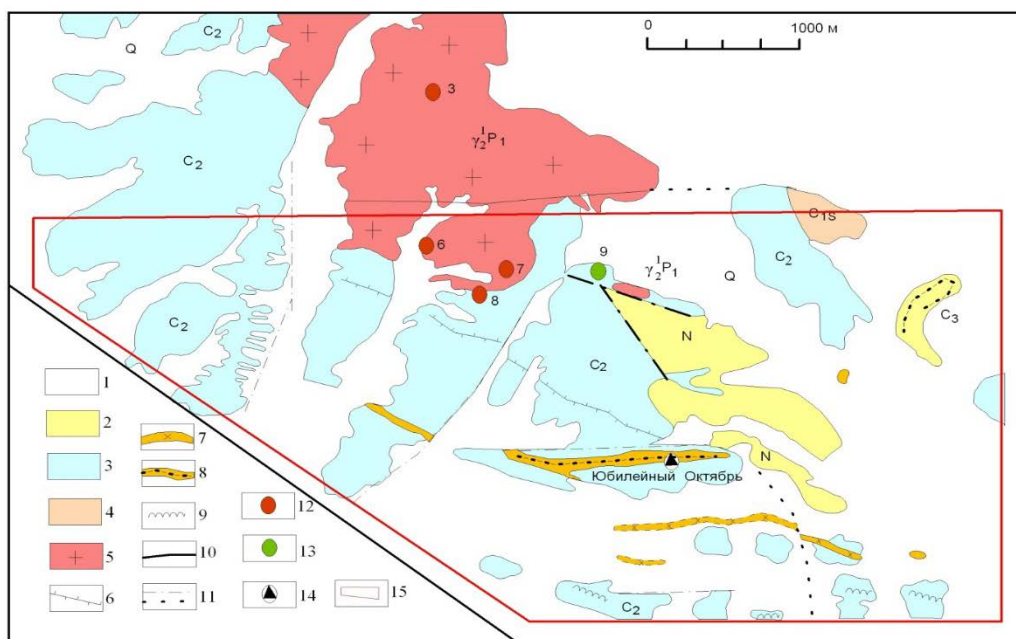


Рисунок 5 – Геологическое строение перспективного участка Дельбегетей. По [] с уточнениями: 1 – рыхлые четвертичные отложения; 2 – красноцветные суглинки, глины; 3 – песчаники, конгломераты, гравелиты, известковистые алевролиты буконьской свиты; 4 – песчаники, углисто-глинистые алевролиты аганактинской свиты; 5 – среднеравнозернистые и слабо порфировидные биотитовые граниты II фазы дельбегетейского комплекса; 6 – дайки гранодиорит-порфиров; 7 – гранит-порфиров; 8 – кварцевых порфиров кунушского комплекса; 9 – золотоносные кварцевые жилы и прожилки; 10 – разломы I порядка и 11 – второстепенные на поверхности и под чехлом рыхлых отложений; 12-14 – рудопоявления (12 – грейзеново-кварцевожилные олова; 13 – бериллия и 14 – сульфидно-оловянные типа минерализованных зон); 15 – рекомендуемая площадь для постановки поисковых работ

Оловоносные минерализованные зоны размещаются в верхней части рудной колонны. Учитываются геофизические данные (О.К. Аверин и др.) о пологих контактах гранитного массива (15-45°), наличие выступов гранитов в экзоконтактовой зоне и слабая изученность объекта на глубину (до 40-150 м). Кроме того, на участке прослеживаются дайки кварцевых и кварц-полевошпатовых порфиров, фиксируются отдельные выходы и развалы гранитов дельбегетейского комплекса с повышенным содержанием Pb, Zn (0,15 %) и Sn (0,16 %). Вмещающие осадочные породы подвержены гидротермально-метасоматическим изменениям (брекчирование, окварцевание, турмалинизация, сульфидизация и лимонитизация), отмечаются геохимические ореолы Sn, As, Pb, Cu, в кварц-турмалиновых метасоматитах повышено содержание Sn (до 0,1 %). По типу оруденения Юбилейное Октябрь сопоставляется с оловорудным объектом «Ржавая Сопка», расположенным в Шульбинском рудном районе [8].

На рассматриваемой площади выделяются также зоны обохренных лимонитизированных и окварцованных песчаников (шириной до 100 м), содержащих в отдельных штучных пробах из кварца Cu (до 0,4 %), Zn (0,01-0,02 %) и по результатам пробирного анализа Au (0,2-1,8 г/т). Зоны минерализации подчеркиваются вторичными ореолами Cu (0,006-0,02 %), Zn (0,005-0,08 %) и Pb (0,002-0,01 %). В металлогеническом плане здесь, вероятно, прослеживается одна из ветвей золото-кварц-сульфидных зон Чарской зоны. На этом основании Дельбегетейский участок представляет интерес на редкие металлы и золото. Главное направление поисковых работ должно сводиться к выявлению скрытых гранитных апофиз и гребневидных выступов в надинтрузивной зоне гранитного массива на глубине до 300-500 м, где могут быть обнаружены грейзеновые штокверки и минерализованные зоны с более значительными запасами оловянных руд.

Список литературы

1. Щерба Г.Н., Беспяев Х.А., Дьячков Б.А., и др. Большой Алтай (геология и металлогения. Кн. 2. Металлогения. – Алматы: НИЦ «Гылым», 2003. – 304 с.
2. Лопатников В.В., Изох Э.П., Ермолов П.В. и др. Магматизм и рудоносность Калба-Нарымской зоны Восточного Казахстана. – М., 1982. – 248 с.
3. Kuibida M.X., D'yachkov B.A., Vladimirov A.G., Kruk N.N., Khromykh S.V., Kotler P.D., Rudnev S.N., Kruk E.A., Kuibida Y.V., Oitseva T.A. Contrasting Granite Magmatism in the Kalba Fold Belt (Eastern Kazakhstan): Evidence for Late Paleozoic Postorogenic Events // Journal of Asian Earth Sciences. – 2019. – №175. – Pp. 178-198 (импакт-фактор).
4. Кравченко М.М., Дьячков Б.А., Суйебаев Е.С., Сапаргалиев Е.М., Азельханов А.Ж., Ойцева Т.А. Перспективы укрепления и развития сырьевой базы титанового производства (Восточный Казахстан) // Вестник Пермского государственного научно-исследовательского университета. – 2016. – Вып. 1(30). – С. 78-87.
5. Миароловые пегматиты / В.Е.Загорский, И.С. Перетяжко, Б.М.Шмакин. – Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1999. – (Гранитные пегматиты; Т. 3.) – 488 с.
6. Шмакин Б.М. Пегматитовые месторождения зарубежных стран. – М.: Недра, 1987. – 224 с.
7. Дьячков Б.А., Гавриленко О.Д., Майорова Н.П., Бочкова О.И., Миароловая минерализация гранитов как индикатор оловоредкоментального оруденения // Записки Всероссийского минералогического общества. – С.-Пб., 1992. – № 5. – 102 с.
8. Дьячков Б.А., Мизерная М.А., Айтбаева С.С., Мирошникова А.П., Кузьмина О.Н. Онгонитовые дайки Восточного Казахстана и специфика их рудоносности // ВІСНИК Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2020. – №1(88). – С. 61-68.

Получено 21.07.2020

МРНТИ 551+553 (574.4)

З.И. Черненко, И.Е. Матайбаева

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

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА РЕДКОМЕТАЛЬНО-ФЛЮОРИТОВОГО ТИПА ОРУДЕНЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАРАДЖАЛ (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН)

Изучение месторождений Восточного Казахстана редкометально-флюоритового типа является актуальной задачей сегодняшнего дня, которую надо решать на высоком научно-техническом уровне для воссоздания собственной минерально-сырьевой базы редкометально-флюоритового оруденения. На примере месторождения Караджал, так как редкие металлы и флюориты здесь являются единственными промышленными компонентами, рассмотрены возможные резервы укрепления и развития минерально-сырьевой базы Восточного Казахстана на редкометально-флюоритового оруденение.

Шығыс Қазақстанның сирек металды-флюоритті типті кен орындарын зерттеу бүгінгі күннің өзекті міндеті болып табылады, оны сирек металды-флюоритті кенденудің жеке минералдық-шикізат базасын қалпына келтіру үшін жоғары ғылыми-техникалық деңгейде шешу қажет. Мұнда сирек металдар мен флюориттер жалғыз өнеркәсіптік компоненттер болып табылатындықтан, Каражал кен орнының мысалында Шығыс Қазақстанның сирек металды-флюоритті кенденуге арналған минералдық-шикізат базасын нығайту мен дамытудың ықтимал резервтері қаралды.

The study of the deposits of East Kazakhstan rare-metal-fluorite type is an urgent task today, which must be solved at a high scientific and technical level for the problem of reconstructing your own mineral resource base of rare-metal-fluorite mineralization by the example of the Karadzhal field, since rare metals and fluorites are the only industrial components here. All this points to possible reserves for strengthening and developing the mineral resource base of East Kazakhstan for rare-metal fluorite mineralization.

Ключевые слова: перспективы, прогноз, Караджал, Дегеленский гранитный массив, редкометально-флюоритовое оруденение, пирит, сфалерит, флюорит, ресурсы, технологии, Восточный Казахстан.

Месторождение Караджал расположено в северном экзоконтакте Дегеленского гранитного массива, среди песчано-известковых пород нижнесреднего девона. Участок месторождения сложен в основном полевошпат-кварц-биотитовыми, кварц-пироксеновыми и кварцевыми роговиками, среди которых залегают линзы мраморизованных известняков, скарнов, флюоритсодержащих метасоматитов различного состава и опало-халцедоновых пород, а также различные кварцевожильные образования. Зона оруденения прослеживается более 6 км в виде неправильной полосы, вытянутой в северо-западном направлении мощностью 250-300 м. С северо-востока и юго-запада она ограничена интрузивными породами кислого состава.

Редкометалльное флюоритовое месторождение Караджал генетически тесно связано с Дегеленским массивом аляскитовых гранитов, где рудные тела формировались непосредственно в экзоконтакте интрузивных пород. Контакты гранитов с роговиками и другими породами, слагающими месторождение, имеют весьма прихотливые контуры. Граниты в приконтактной зоне мелкозернистые, интенсивность ороговирования по мере удаления от гранитного массива постепенно уменьшается. Роговики в контакте более катаклазированы, чем граниты. Площадь месторождения входит в региональную зону дробления, и выделение здесь отдельных тектонических зон несколько условно.

Основным носителем редкометального оруденения на месторождении являются магнетитовые скарны и метасоматиты сложного состава, развитые на северо-западе рудоносной зоны. Данные образования слагают серию неправильных линз, залегающих согласно с вмещающими породами. Простираие таких линз северо-западное, падение моноклиальное на северо-восток под углом 65-85°. На глубину они изучены слабо, намечается отчетливая общая закономерность увеличения с глубиной мощности и площади распространения рудных тел с объединением отдельных линз в единые крупные залежи.

Руды преимущественно тонкозернистые и минеральный состав их сложный. Основные компоненты представлены кварцем, везувианом, магнетитом, гранатом, гематитом, флюоритом, берtrandитом, хризобериллом, гельвином, иногда слюдами и полевыми шпатами. Из рудных минералов, кроме того, установлены пирит, сфалерит, халькопирит, редко галенит, блеклая руда, шеелит и вторичные – лимонит, нонтронит, гетит, малахит, ковелин, барит, халькозин, ярозит, вульфенит. Наиболее поздними минералами из нерудных являются эпидот, клинохлор, хлорит, серицит, пренит, цеолит, кальцит, гидробиотит, опал, халцедон и в значительной мере флюорит.

Редкометаллоносный участок месторождения общей длиной около 3 км к настоящему времени разведан только в центральной части.

Размеры отдельных рудных тел составляют от 60 до 270 м по простиранию и до 150 м по падению при мощности 1 - 40 м. Запасы подсчитаны по четырем рудным телам до глубины 100 м и составляют: BeO – 4350 т.; WO₃ – 795 т.; Mo – 365 т.; Sn – 230 т.; Zn – 13344 т.; Fe – 1900 тыс.т.

Скарны (карбонатиты) и другие метасоматиты редкометаллоносного участка обогащены флюоритом весьма значительно. Запасы последнего в разведанном блоке составляют 461 тыс.т., однако среднее содержание CaF₂ невелико – 27,6 %, и такие руды до настоящего времени на флюорит обычно не разрабатываются. Комплексная разработка их представляется малорентабельной также из-за залегания основного объема руд на глубинах свыше 50 м, невысоких содержаний основных компонентов (BeO – 0,17-0,23 %, WO – до 0,096 %, Zn – до 0,33 %) и трудной обогатимости руд по предварительным исследованиям.

Большой интерес в отношении флюорита представляет юго-восточная часть рудоносной зоны, где В.И. Станиной и пр. в 1952 г. были выявлены кварц-флюоритовые жилы, залегающие среди скарнов, роговиков и в контакте этих пород.

По описанию для жил характерна неправильная форма, обусловленная невыдержанными мощностью и простиранием. Залегают они в общем согласно с вмещающими породами: имеют северо-западное простирание, но отмечены и секущие контакты по отношению, в частности, к скарновым залежам.

Из кварц-флюоритовых жил юго-восточного участка наиболее изучена жила № 1. Протяженность ее по простиранию около 900 м, мощность варьирует от 1,5 до 27 м при средней 15,3 м. На поверхности жила прослежена канавами и шурфами через 50-100м. На глубину была попытка

вскрыть ее скважиной, однако ввиду низкого выхода керна результаты бурения оказались непредставительными. Другие жилы вскрыты единичными поверхностными выработками, по одной из жил пройден шурф глубиной 10 м, не вышедший из руды, и пробурена малоглубинная скважина с неудовлетворительным выходом керна. В целом изученность жил остается слабой.

Минеральный состав жил относительно прост: основными компонентами являются кварц и флюорит; с поверхности иногда в значительной мере развит каолин. Кварц тяготеет в большей степени к зальбандам жил, флюоритом обогащены их центральные части. Содержание флюорита в жилах варьирует в значительных пределах: по жиле № 1 оно в среднем составило 58,1 %, в других также часто превышает 30-50 %. Запасы флюорита в жиле № 1 с экстраполяцией оруденения до глубины 25 м В.И. Станиной определены в 492 тыс.т. В современном понимании эти запасы могут быть отнесены к ресурсам категории Р₁.

Месторождение приурочено к клину осадочных пород в северо-западном эндоконтакте гранитного массива Дегелен. По существу, данная структура представляет собой узкий (50-250 м) протяженный (более 6 км) провес кровли в гранитах, вытянутый в северо-западном 295° направлении, выклинивающийся на глубине 50-150 м; поверхность подстилающих гранитов неровная с общим воздыманием на юго-восток, участками осложнена небольшими апофизами.

Оруденение развито в породах кровли, представленных полевошпат-кварц-биотитовыми, кварц-пирокеновыми и кварцевыми роговиками, среди которых залегают линзы мраморизованных известняков и скарнов различного состава. Простираие пород довольно выдержанное субсогласно простираию всего останца, падение обычно крутое (65-85°) на северо-восток.

Дизъюнктивная тектоника месторождения сложная, по существу рудное поле располагается в пределах мощной зоны дробления, вытянутой вдоль простираия пород. Выделение в пределах этой зоны отдельных локальных зон повышенного дробления носит условный характер и отражает только максимальное проявление деструкционных процессов. Мощность таких локальных зон повышенного дробления иногда превышает десятки метров, контакты их неровные. Характерными для этих зон являются интенсивное проявление каолинизации обломочного материала и развитие своеобразных брекчиевых текстур, особенно отчетливых при наложении опализации. Хорошо выраженные зоны дробления и брекчирования наблюдаются во всех оруденелых и вмещающих породах. Сведения о тектонической проработке и минерализации гранитов противоречивы. С одной стороны, указывается, что зоны дробления в гранитах редки, невелики по размерам и лишь изредка в них отмечается наложенное окварцевание. С другой стороны, по данным скважины 25, вскрывшей наиболее обстоятельно граниты под рудоносной зоной (с полным пересечением продолжения рудного тела), в гранитах установлены «многочисленные жилки флюорита, а также зонки грейзенизации».

С учетом изложенного предполагается, что заложение охарактеризованных зон дробления и брекчирования произошло до внедрения гранитного массива или в процессе его становления. В пост интрузивную фазу они и литологический состав пород контролировали рудолокализацию. Более поздние пострудные тектонические подвижки происходили, в основном, по ранее сформированным ослабленным зонам и потому согласны с простираием рудных тел. Выразились они, главным образом, в дополнительном дроблении пород без существенного влияния на структуру месторождения в целом. Характер и интенсивность тектонической проработки гранитов, особенно на продолжении ослабленных рудоносных зон, остаются пока невыясненными.

Оруденение на месторождении редкометально-флюоритовое и флюоритовое, связано, соответственно, с гидротермально-метасоматически измененными скарнами и кварц-флюоритовыми жилами, в распределении которых устанавливается определенная зональность.

Комплексное редкометально-флюоритовое оруденение наблюдается приблизительно на 5 км участке в северо-западной части рудной зоны (Центральный, Северный участки и в обрамлении их). Скарнированные и оруденелые породы здесь прослеживаются на поверхности в виде линзовидных тел мощностью от 2-3 по 30-100 м и протяженностью от нескольких сотен метров до 2-х км. Простираие их северо-западное 230-300°, падение под углом 60-80° на северо-восток. На глубину более изучены рудные тела Центрального участка. Вертикальная протяженность их преимущественно около 100 м, ограничиваются они контактовой поверхностью гранитов. На глубине отдельные

линзы вблизи гранитов порой сливаются в морфологически сложные залежи, в результате чего объем оруденелых пород на нижних горизонтах в целом возрастает.

Кварц-флюоритовые жилы установлены, главным образом, на юго-востоке рудной зоны, одиночные жилы этого типа выявлены также к северо-западу от редкометаллоносного Центрального участка.

Месторождение Караджал исследователи относят к объекту скарнового типа. По их мнению скарнированию подвергались известковистые отложения D_3fm (известняки, аркозовые песчаники), риолиты, дацитриолиты, дацитовые порфиры и их туфы, андезитобазальтовые порфириты и их туфы, песчаники баянаульской свиты $D_{2-3} bp$, изначально зараженные полиметаллической минерализацией. Главные минералы рудоносных залежей – везувиан, гранат, топаз, а из рудных – магнетит. Редкометалльная минерализация связана с наложенной на скарны грейзенизацией, с которой проявлена интенсивная флюоритизация, вплоть до образования флюоритовых жильных тел. Основным рудным компонентом месторождения является бериллий, представленный хризобериллом, гелвином, берtrandитом, фенакитом и бавенитом. Бериллиевая минерализация концентрируется в гранат-флюорит-магнетитовых, в меньшей мере в гранат-везувиановых и флюорит-полевошпатовых метасоматических образованиях. Среднее содержание бериллия в рудах 0,2 %, в сотых и первых долях процента устанавливаются вольфрам, молибден, олово. Разведанные запасы по категориям C_1 и C_2 представляют интерес. Кроме того, месторождение представлено полиметаллической минерализацией в виде прожилков и вкрапленностью халькопирита и галенита, а в зоне дробления – их вторичными минералами. Здесь выявлены относительно богатые медно-цинковые руды, проявленные цинковыми монтмориллонитами, содержащими до 10 % цинка. Природа этих образований на сегодняшний день осталась неустановленной. Флюоритовое оруденение имеет промышленное значение. Из других рудных компонентов следует отметить содержание в скарнах скандия до 1 %, в зоне окисления установлены повышенные значения серебра – 127 г/т и золота – 6,8 г/т, что позволяет ставить вопрос о необходимости оценки зоны окисления и первичных руд всей рудоносной полосы на благородные металлы. Кроме того, в грейзенизированных щелочных разностях интрузий были выявлены кристаллы изумрудов.

При оценке месторождения Караджал был проведен тщательный палеотектонический анализ, микроскопическое петрографо-минералогическое изучение. Анализ показал, что месторождение Караджал сформировано, по меньшей мере, в четыре этапа с разделением на несколько фаз и субфаз. Длительный ход магматического пороодообразования осложнялся процессами автотектонизма, контактового преобразования ранее сформированных пород при последующих магматических инъекциях.

Дегеленский массив расположен в тектонически активной зоне, сложен щелочными аплитами, раздроблен, по нему проходит зона разлома и зона надвига, а центральная часть подвержена сильным процессам изменения. Массив (шл. 1066, 1058) представлен граносиенитом, состоит из КПШ – 80 % в виде основной массы и вкрапленников, кварцем – 10 %, титаномагнетитом. Вторичные минералы представлены пелитом, хлоритом, гематитом. Порфиновые вкрапленники КПШ величиной 0,3 до 1,5 мм, в поперечнике основная масса зерен 0,01 мм. Магнетит в виде зерен размером 0,1 мм рассеян по всей породе, составляет в шлифе до 10 %.

Флюорит-магнетитовый тип оруденения, а также метасоматиты сложного состава на месторождении являются носителем флюорита и составляют 461 тыс. т., при содержании 27,6 % CaF_2 , кроме того, присутствует BeO (0,17-0,23 %), Zn (0,88 %). Для оруденения этого типа характерна полосчатая текстура, характеризующаяся чередованием полос магнетитового и флюоритового состава с хорошо выраженной структурой окаймления (оторочковая, каемчатая, венчиковая, шл. К-166). Оруденение в значительной степени хлорировано.

Флюорит на месторождении представлен тремя генерациями от крупнозернистой, среднезернистой кристаллической формы до тонкозернистой и скрыто кристаллической агрегатной морфологией. Под микроскопом он бесцветный, чистый с низким рельефом, в кристаллах наблюдается спайность в трех направлениях, изотропен.



Рисунок 1 – Фото флюоритов

Таким образом, при рассмотрении этапов тектономагматической активизации на участке «Караджал» можно прийти к выводу, что в первую стадию сформировались гранат-пироксеновые и карбонатитовые метасоматиты, на которые наложился флюорит-магнетитовый тип оруденения. Средняя стадия обусловлена выделением гидроксилсодержащих бериллов, и третья стадия характеризуется развитием сульфидов и кварц-флюоритового оруденения, которое проявилось в виде грейзенов, где ранние генерации флюорита сменяются более поздними. Все это можно представить в виде рудной колонны, в верхней части которой проявлено медно-порфировое (сульфидное) оруденение, месторождение Юбилейное, средняя часть – берилловое, и более ранние карбонатитовые залежи, на которые наложился флюорит-магнетитовые руды. Процесс гипергенного минералообразования завершается формированием кварц-флюоритовых прожилков. Для оценки перспектив месторождения Караджал на комплексное оруденение и уточнение его генетического типа предлагается использовать инновационную технологию газовой геохимии, заключающейся в специальном опробовании с определением в пробах подвижных форм химических элементов, которые обладают большой проникающей способностью миграции и могут отличать рудные объекты и другие геохимические структуры, находящиеся на глубинах 300-500 м и более. При этом перекрывающие отложения могут быть рыхлыми или консолидированными. Будут использованы два способа анализа слабо закрепленных соединений: метод подвижных форм (МПФ) и термомагнитный метод (ТММ). МПФ фиксирует металлы в хульбатах, гуматах и других металлоорганических соединениях. Пробы для МПФ отбираются с самого поверхностного обогащенного гумусом слоя. Вес пробы 250-300 г. Термомагнитный метод фиксирует металлы, сорбированные окислами и гидроокислами железа и марганца на радикальном уровне. Пробы отбираются из оценивающего горизонта с глубины 10-250 см от поверхности и имеют вес 250-500 г. ТММ используется в отсутствии гумуса и при необходимости более точной фиксации положения рудных объектов. В общей сложности будет отобрано 100 проб, стоимость одной пробы 100 долларов США.

По данным анализа строятся модели концентрации различных форм нахождения металлов. Для выделения структур разных порядков проводится многовариантное моделирование с изменением генерализации моделей. Корреляционный анализ связей между элементами проводится для выделения элементных ассоциаций и зональности. При использовании этого анализа мы можем подтвердить версию особенности формирования месторождения Караджал и усилить значимость проекта по оценке перспектив рудоносной площади Караджал.

Список литературы

1. Черненко З.И., Матайбаева И.Е. Промышленные типы месторождений полезных ископаемых: Учеб. пособие (курс лекций). – Алматы, Бастау, 2019. – 163 с.
2. Черненко З.И. Геммология и технологическая минералогия: Учеб. пособие (курс лекций). – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2007. – 69 с.
3. Большой Алтай: геология и металлогения. Кн. 3. Металлогения / Щерба Г.Н., Беспяев Х.А., Дьячков Б.А. и др. – Алматы: РИО ВАК РК, 2000. – 400 с.

4. Геология СССР. Том XLI. Восточный Казахстан. Полезные ископаемые. – М.: Недра, 1974. – С. 330-351.

Получено 21.07.2020

МРНТИ 553.551(574.4)

З.И. Черненко, М.А. Мизерная

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

**ПЕРСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА НА ЗОЛОТО-КВАРЦЕВОЕ И ЗОЛОТО-БЕРЕЗИТОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАНКА (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН)**

Изучение месторождений Восточного Казахстана золото-кварцевого и золото-березитового оруденения является актуальной задачей сегодняшнего дня, которую надо решать на высоком научно-техническом уровне для воссоздания собственной минерально-сырьевой базы золото-кварцевого и золото-березитового оруденения. На примере месторождения Манка, так как золото здесь являются единственным промышленным компонентом, рассмотрены возможные резервы укрепления и развития минерально-сырьевой базы Восточного Казахстана на золото-кварцевое и золото-березитовое оруденение.

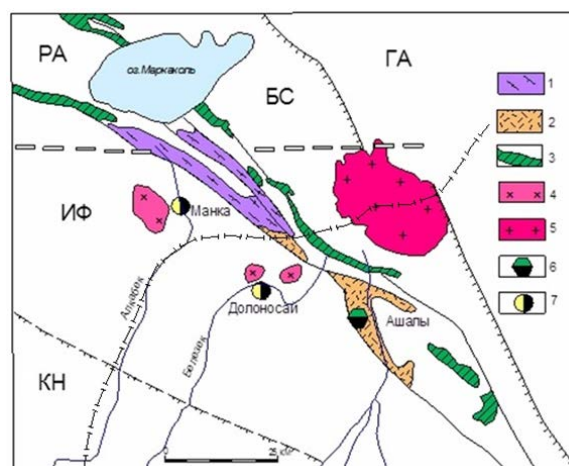
Шығыс Қазақстанның алтын-кварц және алтын-березит кендерін зерттеу бүгінгі күннің өзекті міндеті болып табылады, оны алтын-кварц және алтын-березит кендерінің меншікті минералдық-шикізат базасын қалпына келтіру үшін жоғары ғылыми-техникалық деңгейде шешу қажет. Мұнда алтын жалғыз өнеркәсіптік компонент болғандықтан, Жарма кен орнының мысалында Шығыс Қазақстанның минералдық-шикізат базасын нығайту мен дамытудың алтын-кварц және алтын-березит кендеріне арналған мүмкін резервтері қарастырылды.

The study of East Kazakhstan deposits of gold-quartz and gold-berezite mineralization is an urgent task of today, which must be solved at a high scientific and technical level for the problem of reconstructing the own mineral and raw material base of gold-quartz and gold-berezite mineralization using the example of the Manka deposit, since gold is the only ones here industrial components. All this points to possible reserves for strengthening and developing the mineral and raw material base of East Kazakhstan for gold-quartz and gold-berezite mineralization.

Ключевые слова: перспективы, прогноз, Манка, юго-восточный фланг Курчум-Кальджирского блока, Иртышско-Южно-Алтайская металлогеническая зона, золоторудный пояс, жильно-штоковерковая золотокварцевая и золото-березитовая минерализация, ресурсы, технологии, Восточный Казахстан.

Месторождение Манка расположено в Маркакольском районе Восточно-Казахстанской области в 8 км севернее районного центра – села Алексеевки, на юго-восточном фланге Курчум-Кальджирского блока, на правом берегу Баст-Теректы, вблизи государственной границы с Китаем (рис. 1). Месторождение с разных позиций изучалось многими исследователями (Ф.В. Чухров, М.Ф. Тарасов, П.Ф. Вяткин, Н.И. Бородаевский, В.И. Старов, В.А. Глоба, Н.В. Полянский, Х.А. Беспаяев, В.Н. Майоров и др.) и находилось в эксплуатации. Открыто старателями. Отрабатывалось с 1926 по 1955 гг.

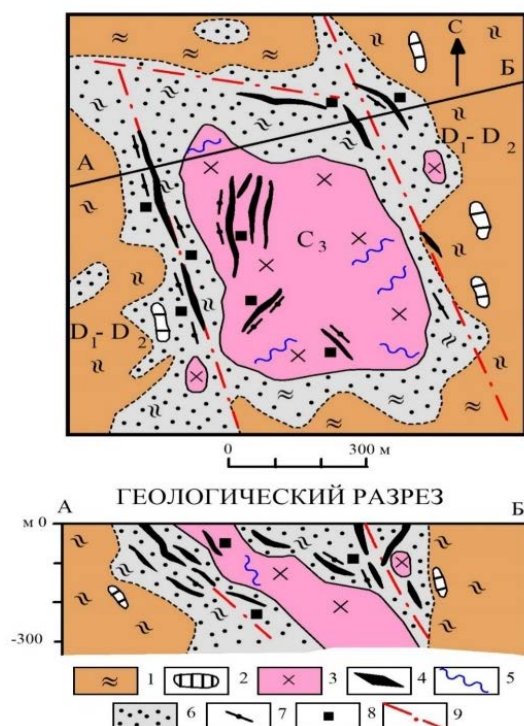
Рассматриваемое месторождение пространственно приурочено к отложениям пугачевской свиты D₁₋₂ (известково-терригенной формации), прорванным штоковидными массивом и дайками гранодиорит-плагиогранитового состава (рис. 2), которые сопоставляются с кунушским комплексом Калбы [1,4]. Пугачевская свита представлена преимущественно алевролитами и алевропелитами, содержащими прослойки песчаников и линзовидные горизонты известняков, подверженных преобразованиям в процессе регионального метаморфизма (рассланцевание, филлитизация, мраморизация и др.). На участке месторождения интенсивно смятая и будинированная сланцевая толща образует флексурный изгиб, к которому и приурочен гранитоидный массив Манка (рис. 1, 2).



1-5 – геологические формации (1 – амфиболит-гнейсовая $PR_1?$, 2 – базальт-риолитовая кремнисто-терригенная D_{2-3} , 3 – габбро-диабазовая D_3 , 4 – плагิโอгранит-гранодиоритовая S_{2-3} , 5 – гранитоидная P_1); 6, 7 – рудные формации (6 – колчеданная медно-цинковая, 7 – золото-кварцевая).

Районирование: ГА – Горный Алтай, БС – Белоубинско-Сарымсактинская, РА – Рудноалтайско-Ашалинская, И – Иртыш-Фуунская металлогеническая зона, КН – Калба-Нарымский рудный пояс.

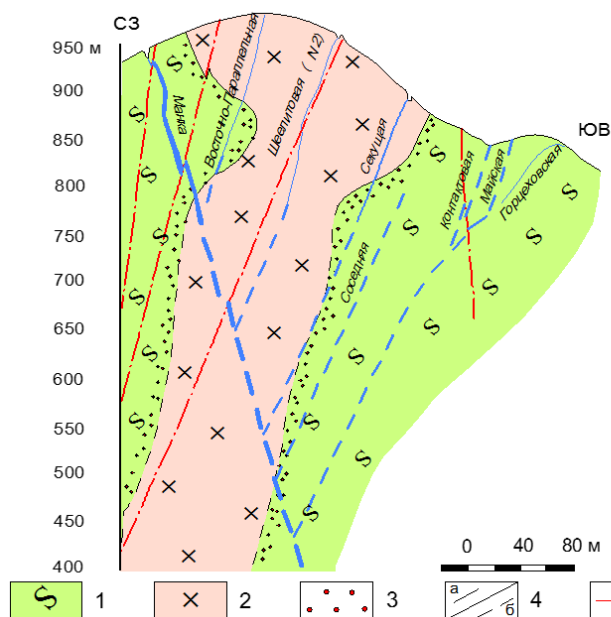
Рисунок 1 – Металлогеническое районирование приграничной территории Рудного Алтая и Синьцзянского Алтая



1 – метапелиты и 2 – линзы мраморов известково-терригенной формации, D_1 - D_2 ; 3 – плагิโอграниты кунушского комплекса, S_3 ; 4 – золотоносные кварцевые и карбонатно-кварцевые жилы; 5 – кварц-альбитовые жилы; 6 – зоны гранитизации и ороговикования, 7 – лиственитизации, 8 – сульфидизации; 9 – разрывные нарушения

Рисунок 2 – Геологическое строение и разрез месторождения Манка

Оруденение представлено крутопадающими золото-кварцевыми жилами, локализованными преимущественно в штоке плагиигранитов, в меньшей степени в сланцевой толще (рис. 3).



1 – зеленые сланцы и филлиты пугачевской свиты; 2 – плагииграниты, гранодиориты кунушского комплекса; 3 – зона ороговикования; 4 – геологические границы: а) установленные, б) предполагаемые; 5 – разрывные нарушения; 6 – стержневая кварцевая жила Манка; 7 – оперяющие более мелкие жилы

Рисунок 3 – Геологический разрез золоторудного месторождения (по материалам Н.В. Полянского, О.П. Евтушенко, 2008 г.)

Рудные тела представлены серией кварцевых и кварц-карбонатных жил и прожилков, расположенных в пределах интрузива и его экзоконтакте, двумя линейными штокверками в эндоконтактовой зоне интрузива и зонами прожилково-вкрапленной минерализации золото-карбонатно-сульфидно-теллуридного состава. Формирование месторождения характеризуется сложными минеральными парагенезисами и происходило в несколько стадий.

Главными рудными телами являются жилы Манка, Секущая и Горцеховская с промышленными содержаниями золота от 5,4 до 10-20 г/т. Распространенные рудные минералы – пирит и тетраэдрит, к второстепенным относятся халькопирит, галенит, сфалерит, тетрадилит, нагиагит, шеелит и др. В рудах отмечается самородное золото в виде мелких скоплений и связанное с сульфидами и теллуридами. На месторождении имеется ряд золотоносных жил, изученных только с поверхности (Майская, Мощная и др.). Наиболее полно изучен минеральный состав жилы Манка.

По результатам работ предыдущих исследователей оценка перспектив месторождения Манка положительная, общие прогнозные ресурсы золота составляют более 2-3 тонн. Обоснование наиболее полно приведено в работах (Н.И. Бородаевского и др., 1959; В.А. Глоба, 2006; Б.А. Дьячков, В.Н. Майоров, 2006; Н.В. Полянский и др., 2008).

Многие кварцевые жилы с промышленным содержанием золота не оконтурены на глубину. По преобладанию в рудах сурьмянистого компонента предполагается, что предыдущими работами была вскрыта только верхняя часть зональной рудной колонны. Отмечается повышенная золотоносность березитированных плагиигранитов, кроме того, по геолого-геофизическим данным имеются предпосылки для обнаружения скрытых гранитоидных куполов на флангах рудного поля (Я.В. Маркушин и др., 1963). Перспективы месторождения также расширяются в связи с размещением рудных объектов в благоприятной вмещающей среде, повышенной карбонатности, развити-

ем здесь золотоносных малых интрузий и даек плагиогранитного состава (аналогов кунушского комплекса). Кроме того, на юго-восточном продолжении рудного поля (на китайской территории) известно промышленное золоторудное месторождение Долоносай, близкое по геологическому строению к месторождению Манка. Это позволяет выделить единую золотоносную структуру Манка-Долоносай и резко повышает перспективность собственно месторождения Манка и фланги рудного поля.

Была проведена оценка прогнозных ресурсов по известным кварцевым жилам (Манка, Секущая, №132, Горцеховская и др.). Общие ресурсы категории P_1 (до глубины 150-350 м, при среднем содержании Au –т 5,89 г/т) составляют 2605,97 кг. Прогнозные ресурсы золота для более глубоких горизонтов по категории P_2 – 3200 кг. Месторождение рекомендуется к доразведке на глубину 350-500 м с перспективой выявления промышленной жильно-штокверковой золото-кварцевой и золото-березитовой минерализации.

Главную промышленную ценность месторождения представляет золото-теллуридное оруденение перечисленных минерально-морфологических типов. Каждый из типов может представлять самостоятельное значение в масштабе месторождения. Их пространственно-сближенное сочетание благоприятно для формирования штокверкового оруденения в объеме рудовмещающего Манкинского штока, рентабельного для крупно объёмной отработки.

По перечисленным морфологическим и минеральным типам оруденения месторождение Манка не имеет аналогов в Казахстане. Для его возрождения, переоценки и освоения рекомендуются расконсервация объекта и проведение детальных геологоразведочных работ на поверхности и глубине с особым вниманием к перечисленным типам золото-теллуридного оруденения.

Список литературы

1. Черненко З.И., Матайбаева И.Е. Промышленные типы месторождений полезных ископаемых: Учеб. пособие (курс лекций). – Алматы: Бастау, 2019. – 163 с.
2. Глоба В.А. Месторождение Манка – новый геолого-промышленный тип месторождений золота // Изв. НАН РК, Сер. геол. – 2006. – № 5(403). – С. 20-28.
3. Глоба В.А. Освоение золото-теллуридных месторождений станет новым этапом в истории казахстанской золотодобычи // Минеральные ресурсы Казахстана. – 1999. – № 1. – С. 13-17
4. Большой Алтай: геология и металлогения. Кн.3. Металлогения / Щерба Г.Н., Беспаяев Х.А., Дьячков Б.А. и др. – Алматы: РИО ВАК РК, 2000. – 400 с.
5. Беспаяев Х.А., Глоба В.А. и др. Месторождения золота Казахстана: Справочник. – Алматы, 1996. – 183 с.
6. Глоба В.А. Золоторудные формации областей подвижно-поясовой активизации Казахстана // Изв. НАН РК. Сер. геол. – 2004. – № 3-4. – С. 110-114.

Получено 21.07.2020



МРНТИ 76.09.43, 50.03.03

Д.Л. Алонцева¹, А.Р. Хожанов¹, С.С. Герт¹, А.Б. Садиев¹, С.Н. Калюжный¹¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан²Институт электросварки им. Е.О. Патона, г. Киев, Украина**РОБОТИЗИРОВАННОЕ МИКРОПЛАЗМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ
ИЗ ТАНТАЛА НА ТИТАНОВЫЕ ИМПЛАНТАТЫ**

Данная статья описывает новую технологию роботизированного микроплазменного напыления танталовых покрытий на медицинские имплантаты из титанового сплава.

Бұл мақала титан қорытпасынан жасалған медициналық имплантаттарға тантал жабындарын роботтандырылған микроплазмалық тозаңдаудың жаңа технологиясын сипаттайды.

This article describes a new technology for robotic microplasma spraying of tantalum coatings on medical implants made of titanium alloy.

Ключевые слова: микроплазменное напыление, биосовместимость, танталовое покрытие, имплантаты, микроструктура, микротвердость.

В настоящее время возрос интерес к использованию биосовместимого металла тантала (Ta), а также сплавов на его основе в качестве материалов для медицинских имплантатов [1-5]. Биосовместимость материала подразумевает, что после введения в живой организм имплантат должен поддерживать нормальную клеточную активность организма в месте внедрения, без каких-либо локальных и системных токсических воздействий на ткани хозяина; он должен быть неиммунным, osteoconductive (то есть образующим непосредственную связь с костной тканью, связывающим остеогенные клетки и обеспечивающим биологические потоки) или/и osteoinductive (индуцировать дифференцировку клеток в osteoforming хондроциты или остеобласты из окружающих не костных тканей на его поверхности, т.е. способствовать наращиванию кости), а также должен вызывать образование кровеносных сосудов внутри или вокруг имплантата [2, 3]. Из-за высокой химической стабильности и твердости, Ta очень перспективен как ортопедический биоматериал, биосовместимость Ta достигается за счет образования препятствующего коррозии относительно толстого (приблизительно 5 мкм) поверхностного оксидного слоя [4]. Однако тантал и его сплавы являются дорогостоящими в производстве, поэтому в настоящее время они востребованы для производства имплантатов в основном в особых обстоятельствах, когда у пациентов возникают такие проблемы, как аллергия или, точнее, гиперчувствительность к металлу [4]. Решить проблему повышения биосовместимости имплантатов, изготовленных из традиционных и менее дорогих материалов, можно изменив функциональность их поверхности путем нанесения покрытий из тантала. Поверхность имплантата первой соприкасается с живой тканью, когда имплантат помещается в человеческое тело. Следовательно, первоначальная реакция живой ткани на материал имплантата зависит от свойств его поверхности. Нанесение покрытий должно обеспечить оптимальные химические и физические свойства поверхности имплантата.

Принимая во внимание тот факт, что характеристики поверхности важны для взаимодействия между имплантатом и живой тканью [1, 6], мы предлагаем использовать технологию микроплазменного напыления покрытий из биосовместимых материалов для модификации любого базового материала имплантата. Материал покрытия может быть металлическим, таким как Ta, Ti, Zr, или неметаллическим, как гидроксиапатит. Методы термического напыления, к которым относится микроплазменное напыление, широко используются в приложениях, связанных с металлообработывающей промышленностью [7], однако для биомедицинской области это инновационный пред-

мет с возможностями, которые в настоящее время изучаются [8-10]. Покрытия должны предпочтительно обладать высокой твердостью, устойчивостью к коррозии, а также хорошей адгезией к подложке (к материалу имплантата) и биосовместимостью. Шероховатость поверхности имплантатов также влияет на реакцию клеток и тканей, повышенная шероховатость увеличивает площадь поверхности имплантата, прилегающую к кости, тем самым улучшая фиксацию имплантата в кости. Покрытия должны быть пористыми, рекомендуемый диапазон размеров пор от 20 мкм до более 100 мкм, чтобы костная ткань и кровеносные сосуды могли прорасти через них [3].

Отличительной особенностью микроплазменного напыления (МПН) является то, что за счет малой мощности процесса (до 2 кВт) и малого диаметра (в диапазоне от 5 мм до 15 мм) пятна распыления на покрываемой плазмой поверхности при нанесении покрытий не возникает проблемы объемного нагрева всего имплантата. Малый размер пятна напыления позволяет сократить потери напыляемого материала при нанесении покрытий на малоразмерные изделия, к которым можно отнести большинство деталей для эндопротезов. Использование роботизированного МПН позволяет обеспечить прецизионное напыление покрытий на имплантаты сложной формы, такие как эндопротезы локтевых и тазобедренных суставов.

В работах [9, 10] было показано, что путем роботизированного микроплазменного напыления можно получить на медицинских имплантатах покрытия из биосовместимых материалов титана и гидроксиапатита с желаемым уровнем пористости, шероховатости и удовлетворительной адгезией к подложке. Целью данной работы было определение принципиальной возможности формирования на медицинских имплантатах твердых покрытий заданной толщины и пористости методом роботизированного микроплазменного напыления Ta-проволоки.

Материал и методы исследований. Микроплазменное напыление танталовых покрытий на подложки из титанового сплава и непосредственно на эндопротез локтевого сустава было произведено в секторе высокоскоростной воздушно-плазменной резки и напыления Центра опережающего развития (ЦОР) VERITAS ВКТУ им. Д. Серикбаева, оборудованном промышленным роботом Kawasaki RS-010LA (Kawasaki Robotics, Япония) и микроплазматроном MPN-004 производства Института электросварки им. Е.О. Патона (Украина). Проволока диаметром 0,3 мм из тантала высокой чистоты (ТВЧ) наносилась на подложки из титанового сплава марки Grade 5 ELI, стандартного состава в мас.% (max): Ti – основа, Fe – 0,25...0,40; N – 0,05 %; O – 0,13...0,20; Al – 5,50...6,75; C – 0,08; V – 3,50...4,50; H – 0,015. Толщина покрытий варьировалась от 100 мкм до 500 мкм в зависимости от режимов напыления.

Перед МПН поверхности образцов обезжиривали ацетоном и подвергали ультразвуковой очистке. Для обеспечения надлежащей адгезии покрытий важно было предварительно обработать поверхности имплантатов, чтобы увеличить их шероховатость. Для активации поверхности газовую абразивную обработку поверхности проводили на абразивоструйной машине Contracor® ECO (Comrag Group GmbH, Германия) с использованием электрокорунда нормального качества A14. Химическая реакционная способность поверхности подложки быстро падает из-за окисления и адсорбции химических газов из атмосферы. Поэтому важно, чтобы интервал времени между газоабразивной обработкой и нанесением покрытия на поверхность не превышал 2 ч. Перед нанесением покрытия образцы хранили в плотно закрытых контейнерах.

Основные параметры МПН приведены в табл. 1, их подбирали экспериментально, исходя из рекомендаций, приведенных в работе [9], чтобы сформировать прочные покрытия с разной пористостью и толщиной. Плазмообразующим и перемещающим газом служил аргон, дополнительный нагрев подложки не проводился. В процессе напыления плазменная струя перемещалась перпендикулярно обрабатываемой поверхности.

Таблица 1

Параметры микроплазменного напыления Ta-покрытий

Наименование параметра, (единицы измерения)	Значение параметров	
	Режим 1	Режим 2
Сила тока (А)	35	45
Расход плазмообразующего газа Ar (литр/час)	300	300

Окончание таблицы 1

Наименование параметра, (единицы измерения)	Значение параметров	
	Режим 1	Режим 2
Дистанция напыления (мм)	80	80
Расход проволоки (м/мин)	6	6
Скорость перемещения плазменной струи (мм/с)	50	50
Число проходов плазменной струи	2	3

Исследование микроструктуры покрытий проводилось с использованием металлографического микроскопа BX-51 (OLYMPUS, Япония) и сканирующего электронного микроскопа JSM-6390LV (JEOL, Япония) с приставкой энергодисперсионного анализа (EDX) INCA ENERGY (Oxford Instruments, Великобритания). Чтобы выявить микроструктурные особенности, образцы механически отполированных поперечных сечений титана с танталовым покрытием дополнительно подвергали химическому травлению в течение 5 секунд, используя раствор 13 мл HNO_3 + 2 мл HF + 35 мл H_2O . Для оценки пористости покрытий изображения их микроструктуры обрабатывали с использованием компьютерной программы ImageJ, которая позволяет измерять по стандарту ASTM E2109-01 размеры пор и пористость покрытия (т.е. процентное содержание пор в покрытии по площади, приходящейся на обнаруженные поры, относительно всей площади шлифа покрытия), выделяя включения, отличающиеся по оттенкам серого цвета или яркости.

Измерение микротвердости по Виккерсу было проведено с использованием микротвердомера DuraScan-20 (EMCO TEST, Австрия) по глубине от поверхности покрытия на поперечных сечениях Ti-образцов с Ta-покрытием с использованием нагрузки 200 г. с выдержкой при максимальной нагрузке 5 с., с расчетом среднего значения по результатам 10 измерений. Чтобы отследить диффузию, которая может происходить на границе раздела между Ta-покрытием и Ti-подложкой, проводили ряд вдавливания индентора у границы, используя тестер микротвердости по Виккерсу при нагрузке 200 г. с выдержкой при максимальной нагрузке 5 с., с шагом между соседними вдавливаниями 0,15 мм.

Результаты и обсуждение. Как показано на рис. 1, Ta-покрытия имеют слоистую (ламеллярную) структуру, образованную расплавленными и деформированными при ударе о подложку частицами Ta-проволоки (рис. 1). Трещины в покрытии и подложке не наблюдаются. Размер пор в покрытиях варьируется в диапазоне от 20 мкм до 50 мкм (рис. 1, а, б), достигая 200 мкм на поверхности покрытия (открытые поры) (рис. 1, в), что согласуется с рекомендациями для пористых материалов ортопедических имплантатов, приведенными в статье [3].

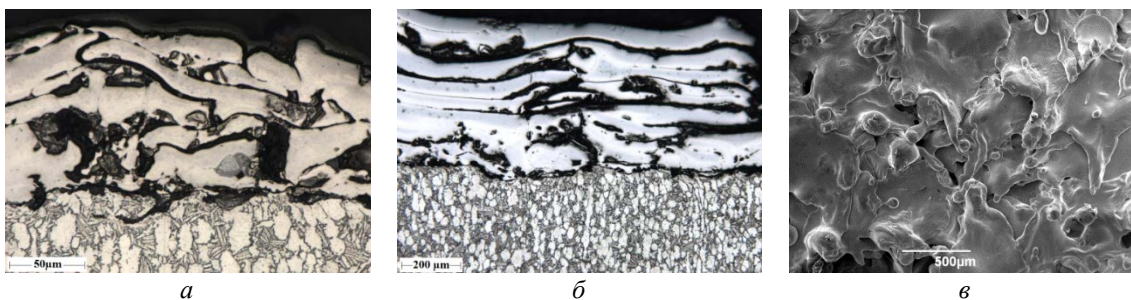
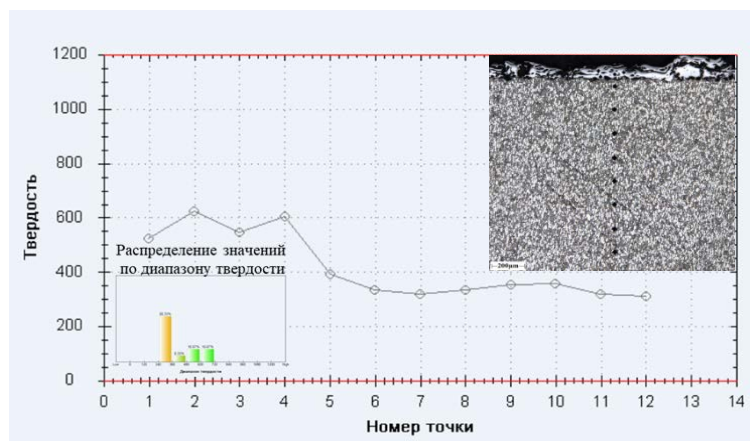
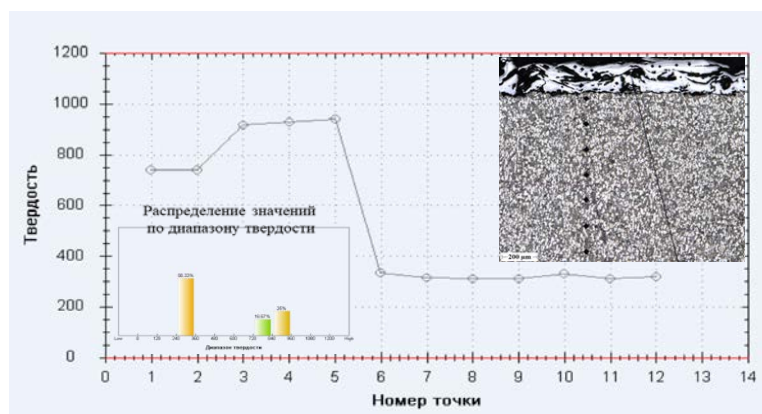


Рисунок 1 – Микроструктура Ta-покрытия на подложке из Ti сплава: а – поперечное сечение, покрытие нанесено по режиму 1 (табл. 1); б – поперечное сечение, покрытие нанесено по режиму 2 (табл. 1); в – поверхность покрытия, нанесенного по режиму 1 (табл. 1)

На рис. 2 приводятся экспериментальные профили распределения микротвердости по глубине от поверхности Ta-покрытий, нанесенных по режимам, указанным в табл. 1 на подложки из Ti сплава.



а



б

Рисунок 2 – Экспериментальные профили распределения микротвердости по глубине от поверхности Та-покрытия на подложке из Ti сплава, показаны изображения микроструктуры с отпечаткам индентора микротвердомера и распределение значений микротвердости (%) по диапазонам: а – покрытие нанесено по режиму 1 (табл. 1); б – покрытие нанесено по режиму 2 (табл. 1)

Среднее значение микротвердости Та-покрытий, нанесенных по режиму 1, составило 573 ± 37 HV (рис. 2, а), по режиму 2 – 851 ± 30 HV (рис. 2, б), что выше средней твердости Ti-подложки, составляющей 329 ± 14 HV.

Существенная вариация значений микротвердости Та-покрытия обусловлена наличием пор в покрытии и границ раздела между расплавленными и деформированными при ударе о подложку частицами Та-проволоки. Профили распределения микротвердости по глубине от поверхности показывают, что микротвердость Та несколько понижена у поверхности, что может быть связано с присутствием открытых пор на поверхности покрытия. В то же время у границы Ti-подложки с покрытием наблюдаются участки с повышенной микротвердостью подложки (390 ± 2 HV), что может быть обусловлено упрочнением твердого раствора в результате растворения Та в Ti в процессе МПН. Можно предположить, что при нанесении покрытий не происходило нагрева поверхности подложки до высоких температур, так как отсутствует повышенная пористость на границе покрытия (рис. 1, а, б). Как отмечается в статье [5], присутствие повышенной пористости в приграничных областях покрытий из Та на титане, по-видимому, связано с кипением Ti, так как температура кипения Ti (3287°C) близка к температуре плавления Та (3017°C). Измерения пористости покрытий показали, что она варьируется от 11,0 % (режим 1) до 8,8 % (режим 2) и определяется параметрами МПН. Для установления зависимости пористости от параметров напыления тре-

буется дополнительное исследование, однако очевидно, что можно управлять этим параметром покрытия, что очень перспективно для развития технологии создания покрытий из тугоплавких биосовместимых материалов. С использованием новых алгоритмов управления роботом-манипулятором, описанных в статье [11], осуществлено МПН Та-покрытия на эндопротез локтевого сустава из титанового сплава (рис. 3). Эндопротезы были изготовлены на станках с ЧПУ в ЦОР VERITAS ВКГТУ им. Д. Серикбаева. Полученные результаты демонстрируют, что методом МПН можно получить покрытия контролируемой толщины из тугоплавкого материала Та, плотно прилегающие к подложке сложной формы (эндопротезу).



Рисунок 3 – Процесс роботизированного МПН танталовой проволоки и эндопротез локтевого сустава из титанового сплава до и после МПН

Выводы. Показана принципиальная возможность формирования твердых покрытий заданной толщины и пористости методом роботизированного микроплазменного напыления Та-проволоки.

Определены параметры микроплазменного напыления, обеспечивающие формирование танталовых покрытий толщиной до 500 мкм и с наличием в покрытии пор размерами от 20 мкм до 200 мкм.

Установлено, что микротвердость микроплазменного танталового покрытия в среднем в 2 раза выше, чем у подложки из титанового сплава.

Осуществлено роботизированное микроплазменное напыление танталовой проволоки на имплантаты локтевого сустава из титанового сплава с использованием новых алгоритмов управления роботом-манипулятором.

Результаты исследования важны для широкого круга исследователей, разрабатывающих технологии термического напыления биосовместимых покрытий.

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP05130525).

Список литературы

1. Sykaras N., Iacopino A.M., Marker V.A., Triplett R.G., Woody R.D. Implant materials, designs, and surface topographies: their effect on osseointegration. A literature review // Int J Oral Maxillofac Implants. – 2000. – Vol. 15. – P. 675-690.
2. Saini M., Singh Y., Arora P., Arora V., Jain K. Implant biomaterials: A comprehensive review // World journal of clinical cases. - 2015. - Vol. 3. – No. 1. – P. 52–57.
3. Matassi F, Botti A, Sirleo L, Carulli C, Innocenti M. Porous metal for orthopedics implants // Clin Cases Miner Bone Metab. – 2013. – Vol. 10. – No. 2. – P. 111-115.
4. Hallab N. J., Jacobs J.J. Orthopedic Applications // Biomaterials Science (Third Edition). – 2013. – P. 841-882
5. Balla V.K., Banerjee S., Bose S., Bandyopadhyay A. Direct laser processing of a tantalum coating on titanium for bone replacement structures// Acta Biomater. – 2010. – Vol. 6. – No. 6. – P. 2329–2334.
6. Wennerberg A, Albrektsson T. On implant surfaces: a review of current knowledge and opinions // Int J Oral Maxillofac Implants. – 2010. – Vol. 25. – P. 63-74.

7. Fotovvati B., Namdari N., Dehghanghadikolaei A. On Coating Techniques for Surface Protection: A Review // J. Manuf. Mater. Process. – 2019. – Vol. 3. – No. 1. – P. 1-22.
8. Cize, J., Matejcek J. Medicine Meets Thermal Spray Technology: A Review of Patents // Journal of Thermal Spray Technology. – 2018. – Vol. 27. – Issue 8. – P. 1251-1279.
9. Алонцева Д.Л., Прохоренкова Н.В., Русакова А.В., Красавин А.Л., Кадыролдина А.Т., Борисов Ю.С., Войнарович С.Г., Кислица А.Н. Разработка технологии микроплазменного нанесения биосовместимых покрытий для изготовления медицинской продукции // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. – 2017. – № 3 (77). – С. 65-71.
10. Алонцева Д.Л., Қантай Н., Русакова А.В., Герт С.С., Джес А.В., Садиебеков А.Б. Роботтандырылған микроплазмалық тозаңдау технологиясымен титан имплантанттарына биоүйлесімді жабындарды қаптау // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. – 2019. – № 2. – С. 73-78.
11. Шадрин Г.К., Алонцева Д.Л., Красавин А.Л., Құсайын-Мұрат Ә.Т. Синтез алгоритма управления движением инструмента робота методом коррекции его динамики и компенсации возмущений // Мехатроника, автоматизация, управление. – Т. 20. – № 8. – 2019. – С. 472-481.

Получено 21.07.2020

МРНТИ 49.38.49

А.Т. Ахмедиярова^{1,2}, Д.Т. Касымова¹, М.Р. Ахмеджанов²

¹Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК

²Университет «Туран»

АНАЛИЗ И ПРИМЕНЕНИЕ ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТИ (PON)

В статье рассмотрены пассивные оптические сети (PON). Представлена архитектура сети GPON. Более подробно осуществлен сравнительный анализ GEPON и GPON. Доказано, что GPON будет оставаться стандартом для настоящих и будущих кратковременных оптоволоконных соединений, стандарт, который будет продолжать работать без сбоев.

Мақалада пассивті оптикалық желілер (PON) қарастырылған. GPON желісінің архитектурасы берілген. Жан-жақты GEPON және GPON салыстырмалы талдауы ұсынылған. Кедергісіз жұмысын жалғастыратын GPON желісі қазіргі және болашақта қысқа мерзімді талшықты-оптикалық қосылыстар үшін стандарт болып қала беретіні дәлелденді.

The article discusses passive optical networks (PON). The architecture of the GPON network is presented. A more detailed comparative analysis of GEPON and GPON. GPON has been proven to remain the standard for present and future short-term fiber optic connections, a standard that will continue to work smoothly.

Ключевые слова: пассивная оптическая сеть (PON), GPON, GEPON.

Введение. Пассивной оптической сети (PON) является телекоммуникационная сеть, которая использует точка-многоточка логических соединений, в которых пассивные оптические компоненты, такие как разделители, используются для того, чтобы одно оптическое волокно для обслуживания нескольких конечных точек. PON состоит из терминала оптической линии (OLT), который расположен в центральном офисе поставщика услуг (CO), и нескольких блоков оптической сети (ONU), совместно используемых конечными пользователями. PON уменьшает количество волокна, оборудования CO и общую стоимость по сравнению с архитектурой точка-точка.

PON – это тип волоконно-оптической сети доступа. В большинстве случаев нисходящие сигналы транслируются всем конечным пользователям, совместно использующим несколько волокон. Шифрование используется для предотвращения подслушивания. Восходящие сигналы передаются с использованием протокола множественного доступа на основе множественного доступа с временным разделением (TDMA).

PON состоит из нескольких элементов – коммутатора на узле связи, линий связи с пассивными сплиттерами в узлах сети и модемов на стороне абонентов. К каждому модему поступают все пакеты от коммутатора, а во время передачи используется временное мультиплексирование кадров. На рис. 1 показана структура PON.

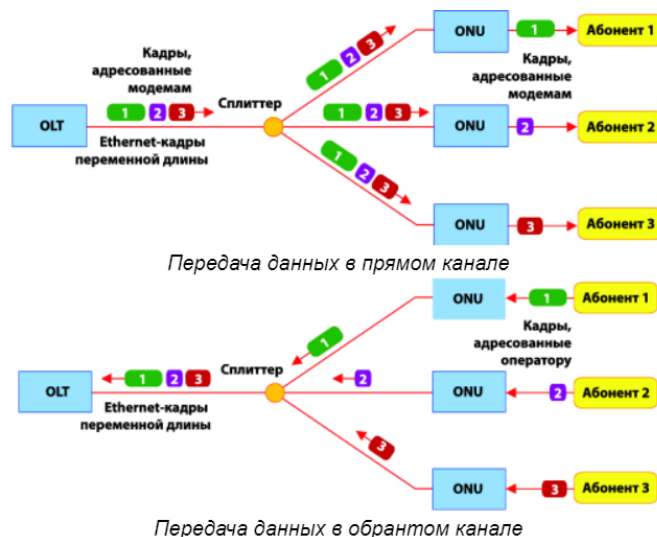


Рисунок 1 – Структура сети PON

Пассивная оптическая сеть доступа дает собой связь всевозможных структурных составляющих, таких как: оптический терминал, сплиттер, оптический кабель, SFP-модуль и иные. Один из главных структурных составляющих пассивных оптических сетей – оптический терминал. Ведущей задачей оптических терминалов является передача данных абонентов и прием от них оборотных пакетов, контроль, коммутация и агрегация трафика [2].

Сплиттеры характеризуются невысоким уровнем вносимых утрат, широкой полосой пропускания, устойчивостью данных, высочайшей надежностью. Оптические сплиттеры используются в сетях передачи данных, на линиях передачи телевизионных сигналов CATV, возможно применение для прогноза характеристик оптических сигналов, вместе с измерительным оборудованием.

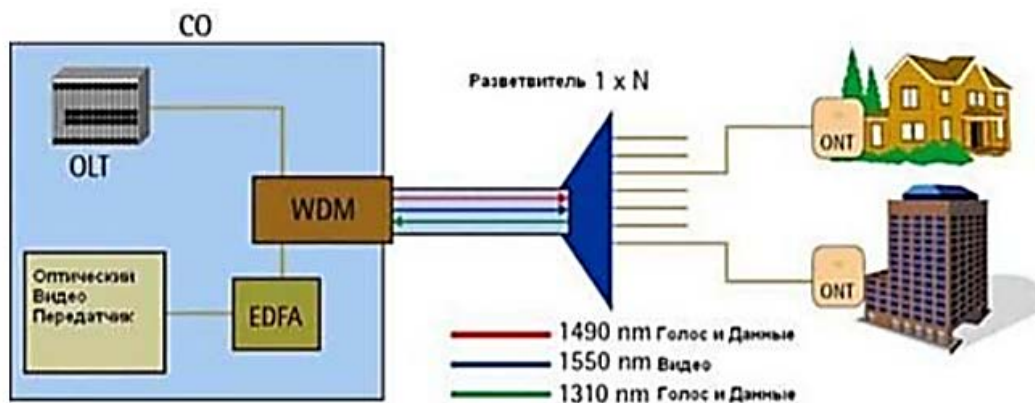


Рисунок 2 – Рабочие длины волн в PON

Гигантская эластичность при построении волоконно-оптических сетей достигается за счет малогабаритного выполнения сплиттеров и широкой линейки предоставляемого оснащения.

Архитектура GPON. Система GPON представляет собой двунаправленную многоточечную сеть, в которой размещены оптические линии доступа между центральным офисом оператора и местами обслуживания клиентов [9]. Гигабитная пассивная оптическая сеть (GPON) объясняется серией рекомендаций МСЭ-Т G.984.1 с использованием G.984.4. Стандартные серии G.984

описывают общие характеристики GPON (G.984.1), а также спецификацию физического уровня (G.984.2), спецификацию уровня передачи (G.984.3) и спецификацию управления и контроля оптического сетевого блока (G.984.4). GPON может передавать не только Ethernet, но трафик ATM и TDM с использованием метода инкапсуляции GPON (GEM) [10]. GPON считается самым сильным для обширных развертываний.

Только активное оптическое оконечное устройство и оптический сетевой блок содержатся в активном передающем оборудовании в GPON. На рис. 2 показана логическая сетевая архитектура с GPON. На рис. 3 показана архитектура GPON.

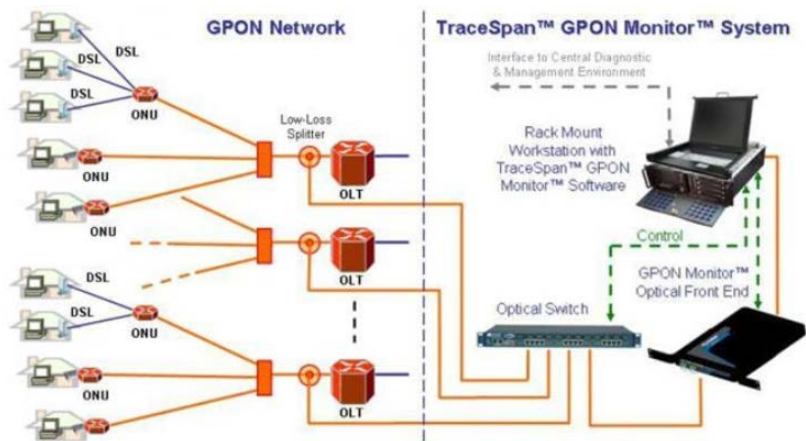


Рисунок 3 – Архитектура GPON

Особенности GPON:

1. Рабочий диапазон длин волн для нисходящего направления составляет 1480...1500, для восходящего направления – 1260...1360. Для распределения РЧ-видео в нисходящем направлении можно использовать диапазон длин волн 1550-1560 нм. Длина волны нисходящего направления и восходящего направления не может быть одинаковой.

2. Прямое исправление ошибок – это арифметический метод обработки сигналов, который шифрует данные, чтобы ошибки могли быть идентифицированы и исправлены. С FEC ненужная информация публикуется вместе с уникальной информацией. Количество дублирующейся информации меньше, поэтому FEC не несет больших накладных расходов.

3. Контейнеры передачи (T-CONT) используются для управления выделением полосы пропускания в восходящем направлении в GPON. T-CONT в основном используются для того, чтобы превзойти использование полосы пропускания восходящего потока на GPON. T-CONT включить завершение качества обслуживания (QoS) в восходящем направлении.

4. Динамическое распределение полосы пропускания (DBA) – это метод, который позволяет быстро адаптировать полосу пропускания пользователя. DBA управляется OLT, который выделяет объем полосы пропускания в ONU. Этот метод применим только в восходящем направлении

Передача GPON

Используя пассивные разветвители, GPON позволяет одному оптоволоконному кабелю делать то, что осуществлялось несколькими оптоволоконными кабелями, давая конечному пользователю возможность объединять несколько служб в единую оптоволоконную сеть передачи данных.

GPON использует метод инкапсуляции GPON в качестве метода, который включает данные через GPON. Даже если любой тип данных могут быть приложены, фактические типы зависят от ситуации обслуживания. GEM предлагает подключение ориентированных коммуникации. На рис. 4 показан пример схемы подключения GPON.

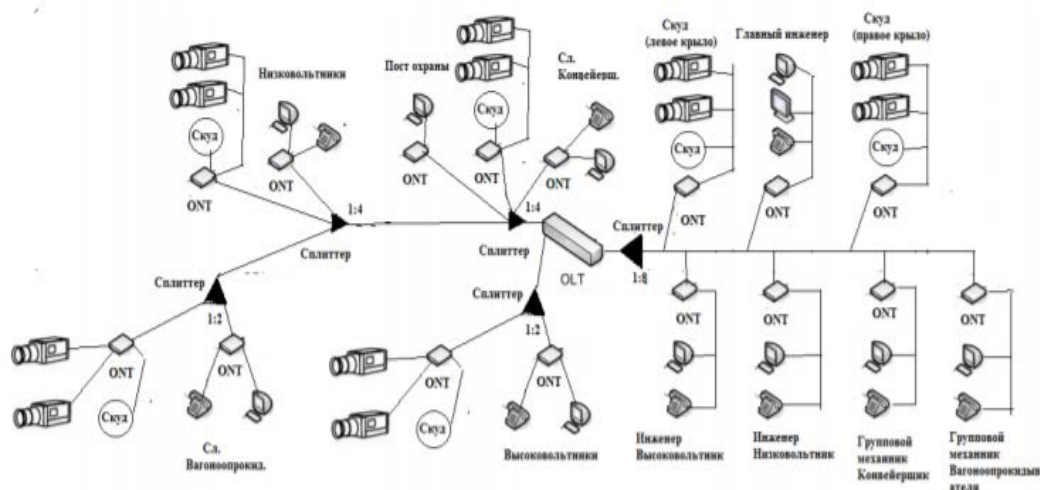


Рисунок 4 – Схема подключения GPON

Сравнительный анализ GEPON и GPON

На сегодняшний день большое распространение получили 2 технологии PON-а и производители телекоммуникационного оборудования предлагают устройства под GPON (GigabitPON) – ITUG.984 и GEPON (Gigabit Ethernet PON) – IEEE 802.3ah.

Основные отличия GPON от GEPON заключаются в большей полосе нисходящего потока (DownStream, DS) у GPON – 2.5G (против 1.25G у GEPON) и отличающейся структуре кадров: в GEPON она максимально похожа на Ethernet, у GPON более сложная и больше напоминает SDH.

Есть еще одна разновидность PON – TurboGEPON. Это нестандартизованная технология, в основе которой лежит IEEE 802.3ah. Основное отличие от GEPON – увеличенная полоса DS до 2.5G.

Таблица 1

Сравнение GPON и GEPON

	GPON	GEPON
услуги	полный пакет услуг (интернет, телефония, ТВ)	полный пакет услуг (интернет, телефония, ТВ)
структура уровней	ячейки ATM и кадры GEM (включающие кадры Ethernet и TDM)	кадры Ethernet (включающие TDM)
скорости передачи	DS: 2,5Gbps US: 1,2Gbps	DS: 1,2Gbps US: 1,2Gbps
максимальное число ONT (ONU) на 1 порт OLT	64 (128)	32 (64)
доступ к среде	множественный доступ с временным уплотнением; осуществляется с помощью управляющих кадров	множественный доступ с временным уплотнением; осуществляется с помощью управляющих кадров
обнаружение и активация ONT (ONU)	автоматическое обнаружение новых ONT (ONU)	автоматическое обнаружение новых ONT (ONU)
несущие для нисходящего (DS)	DS: 1480-1500 нм	DS: 1480-1500 нм
несущие для восходящего (US)	US: 1260-1360 нм	US: 1260-1360 нм

Окончание таблицы 1

	GPON	GEAPON
несущие для КТВ	1550 нм	1550 нм
коррекция ошибок FEC	возможна, позволяет работать на меньшем уровне чувствительности приемника и увеличить число ONT (ONU)	возможна, позволяет работать на меньшем уровне чувствительности приемника и увеличить число ONT (ONU)
шифрование данных	AES – 128 шифрование полезной нагрузки GEM-кадра и ATM-ячейки	AES – 128 шифрование полезной нагрузки Ethernet-кадра

Выводы. В настоящее время GPON продолжает применяться во всё большем количестве стран и регионов, где оптическое волокно постепенно заменяет медь, хотя до исчезновения медных соединений еще далеко, особенно в городах и небольших муниципалитетах, где почти нет инвестиций.

GPON будет оставаться стандартом для настоящих и будущих кратковременных оптоволоконных соединений, стандарт, который будет продолжать работать без сбоев, когда соединения в 1 Гбит/с станут стандартными соединениями для всех домашних хозяйств, соединениями, которые некоторые компании уже предлагают и которые не так далеко станут стандартом, если принять во внимание, что соединения между 300 Мбит/с и 600 Мбит/с на сегодняшний день являются стандартными скоростями.

Список литературы

1. Ganglin Zhang et al. Quantitative Analysis of Cluster-Head Selection for Wireless Sensor Networks, // Proc. of Conf. on Dependable Computing. – Yichang, China. – 2010. – Pp. 277-281.
2. TiffennRault et al. WSN Lifetime Optimization through Controlled Sink Mobility and Packet Buffering // Global information infrastructure symposium, © IEEE. – DOI: 10.1109/GIIS.2013.6684346
3. Anjun Zhao et al. Data Aggregation in Wireless Sensor Networks for Structure Monitoring // 1st Int. Conf. on Information Science and Engineering, © IEEE. – DOI: 10.1109/ICISE.2009.443
4. Yan Lei. Research and Implementation of WSN-based Data Acquisition and Analysis System Using Agent Collaboration // 2nd Int. Conf. on Power Electronics and Intelligent Transportation System, © IEEE. – DOI:10.1109/PEITS.2009.54068844.
5. Minh Tuan Nguyen and NazaninRahnavard. Cluster Based Energy Efficient Data Collection in Wireless Sensor Networks Utilizing Compressive Sensing // IEEE Military Communication Conf., © IEEE. – DOI: 10.1109/MILCOM.2013.289.
6. Vasilis Michopoulos et al. A New Congestion Control Mechanism for WSNs // 10th IEEE Int. Conf. on Computer and Information Technology, © IEEE. DOI: 10.1109/CIT.2010.138.
7. Junchao Ma et al. Contiguous Link Scheduling for Data Aggregation in Wireless Sensor Networks // IEEE Trans. On Parallel and Distributed Systems, © IEEE. – Vol. 25, No. 7. – DOI: 10.1109/TPDS.2013.296. 58
8. Nida Fatima and SapnaGambhir. Op-Leach: An Optimized LEACH Method for busty Traffic in WSNs // 4th Int. Conf. on Advanced Computing & Communication Technologies, © IEEE. – DOI: 10.1109/ACCT.2014.94.
9. PreranaShrivastava and Dr. S.B.Pokle. An Energy Efficient Scheduling Strategy for Data Collection in Wireless Sensor Networks // Int. Conf. on Electronic System, signal Processing and Computing Technologies, © IEEE. – DOI: 10.1109/ICESC.2014.35.
10. Philipp Sommer and Roger Wattenhofer. Gradient Clock Synchronization in Wireless Sensor Networks. – © ACM.
11. Gopal Chand Gautam et al. Time Synchronization Protocol for Wireless Sensor Networking Using Clustering // presented at the IEEE-Int. conf. on recent trends in Information Technology. – Chennai, TN, © IEEE.
12. Sajjad A. Madani et al. Wireless sensor networks: modeling and simulation. – Available: <http://www.intechopen.com>

Получено 21.07.2020

МРНТИ 55.13.01

Т.А. Балтаев¹, Р. Ғабдысалық²¹Казахстанский университет инновационных и телекоммуникационных систем, г. Уральск²Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЗНАЧИМЫХ ФАКТОРОВ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КРУГЛЫХ ПЛАСТИН
В ПРОЦЕССЕ ЕЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ЭНЕРГИЕЙ УЛЬТРАЗВУКА**

В статье рассматривается регрессионная зависимость накопленной остаточной деформации круглой пластины, а именно анализ влияния значимых факторов: время обработки, амплитуды колебаний ультразвукового инструмента, сила прижатия наконечника к обрабатываемой поверхности, накопленной остаточной деформации.

Мақалада дөңгелек пластинаның жинақталған қалдық деформациясының регрессияға тәуелділігі, атап айтқанда маңызды факторлардың әсерін талдау қарастырылған: өңдеу уақыты, ультрадыбыстық құралдың тербеліс амплитудасы, өңделетін бетке ұшты басу күші және жинақталған қалдық деформация

The article discusses the regression dependence of the accumulated residual deformation of a round plate, namely, the analysis of the influence of significant factors: processing time, oscillation amplitudes of the ultrasonic tool, the force of pressing the tip to the treated surface, the accumulated residual deformation.

Ключевые слова: амплитуда колебаний, остаточная деформация, циклическое деформирование, ультразвуковая стабилизация, энергия ультразвука, внутренние напряжения, потенциальная энергия насыщения материала, гистерезис.

В точном машиностроительном производстве значительную долю составляют различного рода приборы и датчики, основными элементами которых являются упругие чувствительные элементы типа круглых пластин.

Упругая тонкостенная деталь типа круглой пластины сопряжена с деталями сложного механизма, которые соединяются между собой в основном с помощью винтов и прочих резьбовых соединений. Большое количество пружин возвратного типа, внутренних люфтов подвижных механизмов способствуют в процессе работы возникновению накопленной деформации круглой пластины, что влияет на стабильность показаний в процессе эксплуатации.

Стабильность характеристик круглой пластины во времени может измениться вследствие пластической ползучести материала, которая может возникнуть при нормальной температуре и накопленной деформации. Это связано с неоднородностью структуры материала и появлением в его микрообъемах остаточных напряжений при изготовлении [1].

На основе проведенных экспериментов и обработки экспериментальных данных получена регрессионная зависимость накопленной остаточной деформации круглой пластины Δ_o от описанных варьируемых факторов: времени обработки, амплитуды колебаний ультразвукового инструмента, силы прижатия наконечника к обрабатываемой поверхности, накопленной остаточной деформации.

$$\Delta_o = 1,34 \cdot 10^3 \cdot t^{0,12} \cdot A^{1,65} \cdot P^{0,34}, \quad (1)$$

где Δ_o – накопленная остаточная деформация круглой пластины; t – время обработки; A – амплитуда колебаний ультразвукового инструмента; P – сила прижатия наконечника к обрабатываемой поверхности круглой пластины.

Из выражения 1 видно, что наибольшее влияние на остаточную деформацию пластины после ультразвуковой стабилизации оказывает амплитуда колебания инструмента. Два других фактора оказывают на стабилизацию пластины менее значительное влияние.

Более наглядно это представлено на рис. 1-3.

На рис. 1 представлена зависимость остаточной деформации пластины от амплитуды колебаний при различных значениях других факторов: верхняя линия соответствует максимальному зна-

чениям времени обработки t и минимальной внешней нагрузки P , средняя линия соответствует средним значениям этих факторов, нижняя линия соответствует минимальному значению времени обработки t и максимальному значению внешней нагрузки P .

Из рис. 1 видно, что с возрастанием амплитуды колебаний ультразвукового инструмента остаточная деформация пластины возрастает. Это явление объясняется тем, что с возрастанием амплитуды колебаний увеличивается разница между значениями затраченной энергии при деформации пластины в направлении действия внешней нагрузки и энергии деформации в противоположном направлении. Разница затраченной энергии влечет за собой разницу в степени релаксации остаточных напряжений и, как следствие, разницу в накопленной остаточной деформации в направлении действия внешней нагрузки и в противоположном направлении. Эта разница и проявляется в остаточной деформации пластины.

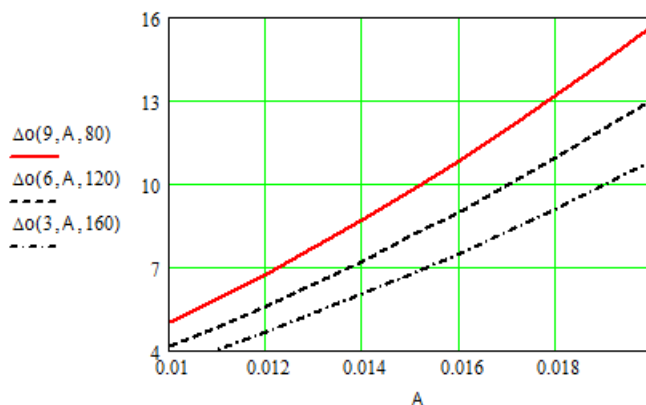


Рисунок 1 – Зависимость остаточной деформации пластины $\Delta_o(t, A, P)$, мкм, от амплитуды A (мкм) колебаний ультразвукового инструмента

Влияние этого фактора усиливается при возрастании энергетического воздействия на круговую пластину в процессе обработки. Поэтому при повышенных значениях времени обработки влияние амплитуды колебаний проявляется более значительно, при минимальном значении времени влияние амплитуды колебаний на остаточную деформацию пластины становится менее интенсивным [5].

Влияние внешней нагрузки противоположно влиянию времени обработки. При меньших значениях силы внешнего воздействия на пластину амплитуда колебаний оказывает более интенсивное влияние на остаточную деформацию пластины, а при больших значениях внешней нагрузки – менее значительное влияние.

На рис. 2 показана зависимость остаточной деформации круглой пластины от внешней силы воздействия.

Верхняя регрессионная зависимость соответствует максимальным значениям времени обработки t и амплитуды A колебаний инструмента, средняя зависимость соответствует средним значениям указанных факторов, а нижняя регрессионная зависимость соответствует минимальным значениям времени обработки t и амплитуды A колебаний ультразвукового инструмента.

Как видно из рис. 2, с увеличением внешней нагрузки на круговую пластину величина остаточной деформации круговой пластины снижается. Это влияние усиливается при большем времени обработки и амплитуды колебаний и снижается при минимальных значениях указанных факторов. Объясняется это тем, что с уменьшением внешнего воздействия на пластину снижается ее натяг, а это, в свою очередь, оказывает влияние на разницу силы деформации пластины в прямом и обратном направлениях. Разница силы приводит к разнице затраченной энергии при прямой и обратной деформации пластины. В свою очередь, разница затраченной энергии влечет за собой разницу в накопленной деформации в прямом и обратном направлениях, а следовательно, к возрастанию результирующей деформации.

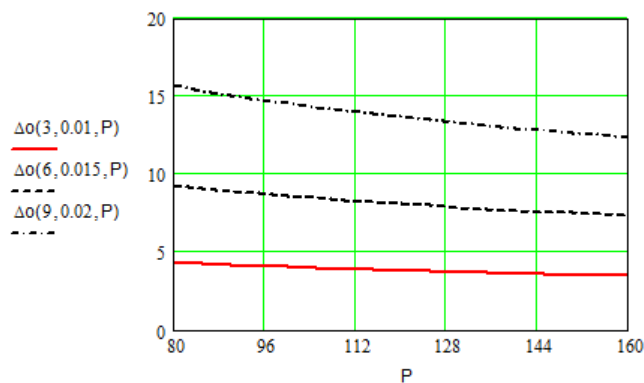


Рисунок 2 – Зависимость остаточной деформации пластины $\Delta_o(t, A, P)$ (мкм) от внешней нагрузки P (Н)

С возрастанием энергии деформации круговой пластины влияние этого фактора усиливается. Поэтому чем больше времени обработки и больше амплитуда колебаний инструмента, тем более значительно внешняя нагрузка влияет на конечный результат.

На рис. 3 представлен график зависимости остаточной деформации круговой пластины от времени обработки.

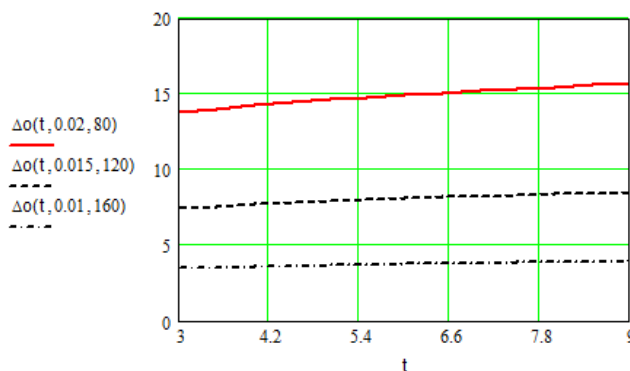


Рисунок 3 – Влияние времени t (с) ультразвуковой стабилизации на остаточную деформацию $\Delta_o(t, A, P)$ круговой пластины

Верхняя кривая соответствует случаю, когда амплитуда колебаний A ультразвукового инструмента максимальная, а внешняя нагрузка P минимальная. Средняя кривая соответствует средним значениям указанных факторов. Нижняя кривая построена при минимальном значении времени обработки t и при максимальном значении внешней нагрузки P .

Из рис. 3 видно, что с возрастанием времени обработки накопленная остаточная деформация круговой пластины возрастает. Это объясняется тем, что с возрастанием времени обработки увеличивается энергия деформации пластины, а следовательно, возрастает остаточная деформация. Возрастание остаточной деформации осуществляется по закону геометрической прогрессии и носит затухающий характер. Таким образом, основные изменения геометрических параметров пластины происходят первые 1-2 секунды обработки, а затем кривая зависимости становится пологой. Из графиков видно, что в первые три секунды осуществляется основная деформация пластины, а в период от 3 до 9 секунд изменения получаются менее значительными.

При максимальной амплитуде колебаний ультразвукового инструмента и при минимальной внешней нагрузке в круговой пластине накапливается большая величина остаточных деформаций. При минимальной амплитуде колебаний и максимальной внешней нагрузки уровень остаточной деформации снижается и при изменении времени от 3 до 9 секунд практически не изменяется.

Из выполненных исследований следует, что основное влияние на накопленную остаточную деформацию пластины оказывает амплитуда колебаний ультразвукового инструмента. Чем меньше амплитуда колебаний, тем меньше накопленная деформация, тем выше точность обработки. Но при этом требуется больше времени на стабилизацию деформации круговой пластины. Основная деформация круговой пластины происходит в первые 1-3 секунды обработки, а затем изменяется менее значительно. При увеличении внешней нагрузки величина остаточной деформации круговой пластины уменьшается и уменьшается требуемое время обработки. Поэтому этот фактор является важным при выборе рациональных режимов обработки [8, 9].

Список литературы

1. Бабенко М.Г. Совершенствование технологии обеспечения размерной точности прецизионных деталей типа колец подшипников на основе ультразвуковой стабилизации внутренних напряжений: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2002. – 147 с.
2. Гуляев А.П. Металловедение [Текст] / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1978. – 640 с.
3. Колбасников Н.Г. Теория обработки металлов давлением. Сопротивление деформации и пластичность. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. – С. 314.
4. Панин В.Е. Структурные уровни деформации твердых тел / В.Е. Панин, В.А. Лихачев, Ю.В. Гриняев. – Новосибирск, 1985. – 226 с.
5. Слесарев С.В. Совершенствование технологии стабилизации остаточных напряжений в прецизионных деталях типа колец подшипников на основе применения ультразвуковой энергии: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2006. – 174 с.
6. Займан Дж. Принципы теории твердого тела / Пер. с англ.; Под ред. В.Л. Бонч-Бруевича. – М.: Мир, 1974.
7. Кушалиев Д.К. Теоретическое обоснование применения конического пружинного вкладыша взамен цилиндрического для подшипника возвратно-вращательного движения в сайлентблоках амортизаторов / Д.К. Кушалиев. – Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2013. – № 1 (73). – С. 231-235.
8. Патент RU № 2478031 Бюл. № 2 27.05.2011. Способ релаксации остаточных напряжений / Королев А.В., Королев А.А.
9. Патент РФ № 2140842. Бюл. №8 20.03.99. Способ вибростарения деталей / Королев А.В., Чистяков А.М., Кривега В.А., Моисеев Г.Н.

Получено 21.07.2020

МРНТИ 49.46.29

А.Е. Бакланов, С.В. Григорьева, А.Ж. Алимханова, К. Алибеккызы, Т.С. Дмитриева
Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕДАЧИ СИМВОЛЬНЫХ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ БЕЛЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СВЕТОДИОДОВ

В статье предложена система передачи данных по технологии VLC с использованием нового физического кодирования. Была реализована передача символьных данных с одного персонального компьютера на другой с помощью белого осветительного светодиода. При передаче данных использовался драйвер для управления светодиодом. Вместо стандартного подхода физического кодирования, где одному такту соответствует значение 0 и одному такту значение 1, выраженное в максимальной мощности светодиода, было реализовано новое кодирование. Данный подход за два такта при 0 напряжении определяет 0 в двоичном кодировании, а при напряжении, обеспечивающем максимальную мощность светодиода, идентифицирует 1 в двоичной системе счисления. Несмотря на то, что скорость передачи данных уменьшается, надежность за счет использования двух битов повышается.

Мақалада жаңа физикалық кодтауды қолдана отырып, VLC технологиясы бойынша деректерді беру жүйесі ұсынылған. Символдық деректерді бір жеке компьютерден екіншісіне ақ жарық

диоды арқылы беру жүзеге асырылды. Деректерді беру кезінде жарықдиодты басқару үшін драйвер қолданылды. Бір сағаттың мәні 0-ге және бір сағат 1-ге, жарық диодтың максималды қуатында көрсетілген физикалық кодтау тәсілінің орнына жаңа кодтау енгізілді. Бұл тәсіл 0 кернеудегі екі циклде екілік кодтауда 0-ді анықтайды, ал жарық диодының максималды қуатын қамтамасыз ететін кернеу кезінде екілік сандық жүйеде 1-ді анықтайды. Деректерді беру жылдамдығы төмендегеніне қарамастан, екі битті қолдану арқылы сенімділік артады.

The article proposes a data transmission system based on VLC technology using a new physical coding. The transfer of character data from one personal computer to another was realized using a white illuminating LED. When transferring data, a driver was used to control the LED. Instead of the standard physical coding approach, where one clock corresponds to a value of 0 and one clock to a value of 1, expressed in the maximum power of the LED, a new coding was implemented. This approach in two clock cycles at 0 voltage determines 0 in binary coding, and at a voltage that provides the maximum power of the LED, identifies 1 in binary. Although the baud rate is reduced, the reliability is improved by using two bits.

Ключевые слова: оптическая беспроводная связь, VLC, светодиод, микроконтроллер.

Широкое внедрение устройств в интеллектуальную среду представляет собой серьезную проблему для поставщиков коммуникационных услуг в целях обеспечения экономичного и высококачественного беспроводного соединения. На сегодняшний день радиочастота в диапазоне 1-3 ГГц оптимальная для использования уже перегружена [1, 2]. Поэтому дефицит спектра, называемый спектральным кризисом, должен решаться соответствующими контрмерами в системах беспроводной связи.

Чтобы удовлетворить растущий спрос беспроводной сети, следует использовать либо увеличение полосы пропускания, либо повышение спектральной эффективности. Однако увеличение спектральной эффективности происходит медленно и не может удовлетворить быстрорастущую потребность. Использование нового спектра становится уникальным решением. Параллельно с развитием технологий в радиочастотной области дополнительно существует потенциал для использования оптической беспроводной связи (Optical Wireless Communication, OWC) как системы связи нового поколения. Технологии OWC обладают рядом уникальных преимуществ, таких как широкий спектр, высокая скорость передачи данных, низкая задержка, высокая безопасность, низкая стоимость и низкое энергопотребление [3-5].

В OWC в качестве передающей среды можно использовать ультрафиолетовый или инфракрасный спектры, а также видимый свет. В пределах последних двух полос возможны связь посредством видимого света (Visible Light Communications, VLC), беспроводная оптика (Free Space Optics, FSO), связь через оптическую камеру (Optical Camera Communications, OCC). На рис. 1 представлены общие схемы передачи данных этих технологий, которые имеют индивидуальные отличные особенности и ограничения в применении [6-9].

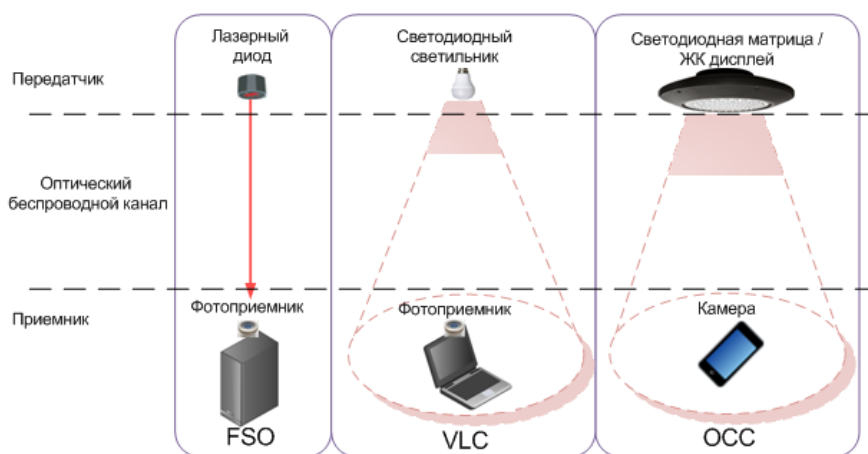


Рисунок 1 – Схемы передачи данных по оптической беспроводной связи

Для организации системы передачи данных по оптической беспроводной связи в помещении наиболее перспективной является технология VLC. В качестве передатчика выступает светодиодный осветительный прибор, который выполняет свою основную функцию – освещение помещения. Проведение большого количества исследований и продвижение данной технологии связано с внедрением в последние десять лет светодиодного освещения, так как в отличие от традиционной осветительной инфраструктуры, полупроводниковая светотехника обладает более высокими технико-экономическими показателями, эксплуатационными параметрами, а также возможностью создания динамичной комфортной световой среды [10]. Безынерционность при включении светодиодных устройств и высокая скорость переключения позволили рассматривать светодиоды как средство передачи информации. Отдельно следует выделить возможность регулирования светового потока светодиода в диапазоне 400-800 ТГц, что в 10000 раз больше радиочастотной полосы пропускания [6, 7].

Таким образом, благодаря качествам светодиода и широкому использованию в освещении помещений, зданий и других объектов возможно их применение при передаче данных. Передача данных по технологии VLC осуществляется за счет быстрого, не воспринимаемого глазом человека, выключения/включения источника света, который одновременно выполняет функцию устройства освещения. Мерцание света, происходящее с большой частотой, позволяет передавать информацию без изменения уровня освещенности в помещении. Кроме того, технология VLC имеет безопасность передачи информации на физическом уровне, устойчивость к радиочастотным электромагнитным помехам и свободное лицензирование.

Ранее нами была разработана система передачи звукового сигнала с использованием технологии VLC. Проведенные эксперименты работоспособности системы показали, что при использовании обычных светодиодных осветительных приборов можно осуществлять передачу звуковых сигналов в помещениях с засветкой от солнечного света не более 20 % [11]. Такие системы являются удобными в помещениях без естественного освещения (подвалы, штольни, шахты и т.д.).

В данной статье рассматривается разработанная авторами система передачи символьных переменных с одного персонального компьютера на другой с использованием белого осветительного светодиода по технологии VLC.

В системах VLC могут быть применены методы, используемые для радиочастотной связи, а также реализованы специфические методы модуляции. Основные методы модуляции построены на двух видах модуляции – это модуляции одной и нескольких несущих [12-14].

При решении поставленной задачи для передачи информации использовалась модуляция одной несущей. При этом, поскольку передавались данные с порта компьютера на микроконтроллер в виде двоичного кода, при физическом кодировании сигнал с микроконтроллера имел вид двухуровневого униполярного NRZ кода (Non Return to Zero). Отличие NRZ кода от стандартного протокола заключалось в следующем: значение 0 занимало два бита – отсутствие сигнала, и значение 1 занимало также два бита, но присутствия сигнала (рис. 2). Используемая физическая кодировка связана с тем, что при передаче данных (0, 1) уменьшается влияние как внешних, так и внутренних искажений. За два такта искажения, происходящие за это время, усредняются, и влияние соответственно снижается. Представленный способ передачи данных в дальнейшем планируется использовать для систем управления, в которых больше важна достоверность информации, чем скорость передачи данных.

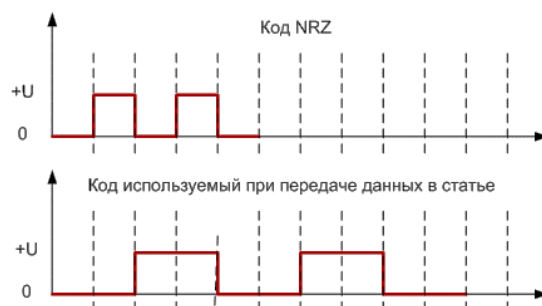


Рисунок 2 – Графическое представление физического кодирования

На рис. 3 представлена общая схема передачи данных по VLC, в которой используется физическая кодировка. С персонального компьютера символные данные в соответствии с таблицей ASCII (American Standard Code for Information Interchange) передаются на микроконтроллер в виде двоичного кода. Дискретные сигналы, передающиеся от микроконтроллера к светодиодному драйверу, представляются в виде физического кодирования и передаются по цифровому каналу связи на расстояние. В приемной части системы от фотоприемника цифровой сигнал усиливается при помощи усилителя и поступает на микроконтроллер. После микроконтроллера сигнал в виде двоичных чисел поступает на персональный компьютер, где в соответствии с ASCII таблицей преобразовывается в символы.

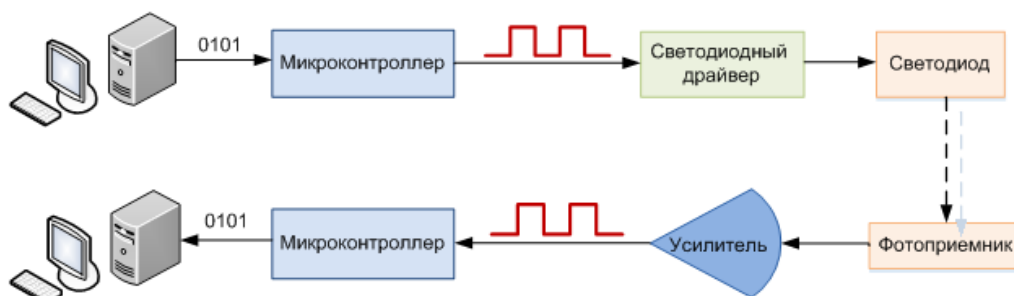


Рисунок 3 – Общая схема передачи данных по технологии VLC

Внешний вид разработанной системы передачи символьных данных представлен на рис. 4.

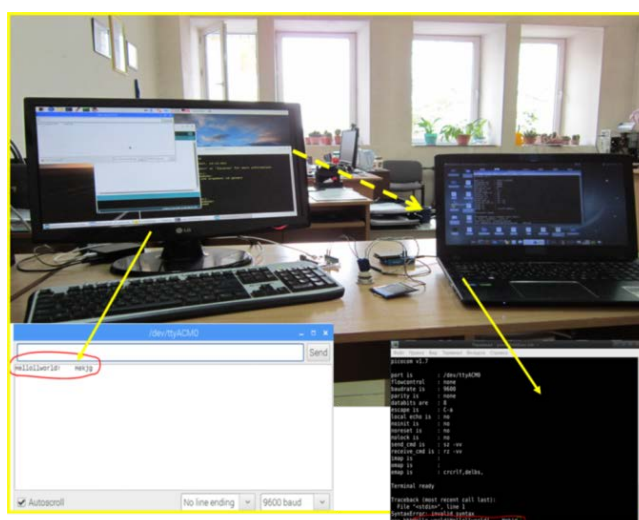


Рисунок 4 – Внешний вид разработанной системы передачи данных

В качестве источника света был использован одноваттный светодиод фирмы Nichia. Для приема сигнала применялся солнечный фотоэлемент. Для преобразования сигнала (для передачи и приема) был использован микроконтроллер STM32.

На сегодняшний день радиочастотные системы не могут удовлетворить высокие требования будущих коммуникационных сетей. Технологии оптической беспроводной связи являются лучшим дополнительным решением для реализации интеллектуальных и экономически эффективных сред. В результате разработана система передачи данных с использованием светодиодов освещения. Реализована новая методика физического кодирования, позволившая надежно осуществлять передачу символов в формате ASCII. Передача символьных данных с использованием предложен-

ного кодирования с частотой 2 кГц показала достаточно устойчивые характеристики, имеющие слабые искажения сигнала. Это говорит о том, что имеется возможность значительного увеличения частоты при использовании микроконтроллеров с более высокой тактовой частотой. Тестирование системы показало высокое качество передачи данных. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности использования данного подхода в системах управления.

Список литературы

1. Frenzel L. Understanding solutions for the crowded electromagnetic frequency spectrum [Электрон.ресурсы]. – 2012. – URL: <https://www.electronicdesign.com/technologies/communications/article/21799723> (дата обращения: 26.06.2020)
2. Swain F. Our hunger for wireless data is threatening to crash our communication networks – but there are ways to avoid disaster [Электрон. ресурсы]. – 2013. – URL: <https://www.bbc.com/future/article/20131014> (дата обращения: 26.06.2020).
3. Visible light for broadband communications. Report ITU-R SM.2422-1. – Geneva, 2019. – Pp. 1-18.
4. Uysal M., Capsoni C., Ghassemlooy Z., Boucouvalas A., Udvary E. Optical wireless communication – An emerging technology // 16th International Conference on Transparent Optical Networks. – 2014.
5. Ghassemlooy Z., Zvanovec S., Khalighi A., Popoola O., Perez J. Optical wireless communication systems // Optik. – 2017. – vol.151. – Pp. 1-6.
6. Teli S., Zvanovec S., Ghassemlooy Z. Optical Internet of Things within 5G: Applications and Challenges // IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System. – 2018.
7. Karunatilaka D., Zafar F., Kalavally V., Parthiban R. LED based indoor visible light communications: state of the art // IEEE Communication Surveys & Tutorials. – 2015. – vol. 17, no. 3. – Pp. 1649-1678
8. Chowdhury M., Shahjalal Md., Hasan M., Jang Y. The Role of Optical Wireless Communication Technologies in 5G/6G and IoT Solutions: Prospects, Directions, and Challenges // Applied Sciences. – 2019.
9. Borah D.K., Boucouvalas A.C., Davis C.C., Hranilovic S., Yiannopoulos K. A review of communication-oriented optical wireless systems // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. – 2012. – vol. 1, no. 1. – Pp. 1-28.
10. Grigoryev Ye., Sayun V., Grigoryeva S., Titov D. Study off Illumination Properties of High-Power LEDs in Various Temperature Conditions // 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. – Erlagol, Russia, 2017. – Pp. 309-313.
11. Baklanov A., Grigoryeva S., Alimkhanova A., Grigoryev E., Sayun V. Audio Transmission System Using White LEDs // International Siberian Conference on Control and Communications. – Tomsk, Russia, 2019.
12. C. G. Lee, C. S. Park, J.-H. Kim, and D.-H. Kim. Experimental verification of optical wireless communication link using high-brightness illumination light-emitting diodes // Opt. Eng. 46. – 2007. – Pp. 125005.
13. D.C. O'Brien. High-speed integrated transceivers for optical wireless // IEEE Commun. Mag. 41. – 2003. – Pp. 58-62.
14. H.L. Minh, D. C. O'Brien, G. Faulkner, L. Zeng, K. Lee, D. Jung, Y. Oh. High-Speed Visible Light Communications Using Multiple-Resonant Equalization // IEEE Photon. Technol. Lett. 20. – 2008. – Pp. 1243-1245.
15. I. Moreno, C.-C. Sun, R. Ivanov. Far-field condition for light-emitting diode arrays // Appl. Opt.. 48. – 2009. – Pp. 1190-1197.
16. T.S. Rappaport, Wireless Communications (Prentice-Hall, 2002).
17. A.J.C. Moreira, R.T.Valadas, A.M. de Oliveira Duarte. Optical interference produced by artificial light // Wireless Net., 1997. – Vol. 3. – Pp. 131-140.

Получено 21.07.2020

МРНТИ 55.39.29 + 55.39.31

В.Д. Баширов¹, Р.Ф. Сагитов², А.М. Балгынова³, А. Мерекекызы³, Д.К. Кушалиев⁴¹ФГБОУ ВО Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия²ООО «Научно-исследовательский и проектный институт экологических проблем», г. Оренбург, Россия³Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова, г. Актобе⁴Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, г. Уралск

УЛУЧШЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЯНЫХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Актуальность проблемы заключается в том, что на современных предприятиях нефтяных и нефтехимической отрасли в настоящее время биологические очистные сооружения периодического действия, функционирующие на очистных сооружениях, не обеспечивают должным образом очистку стоков с высоким содержанием анилина (от 5 до 141 мг/л). В настоящее время на действующие БОС подается сточная вода, полученная смешиванием производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод. Микроорганизмы, как правило, приспосабливаются использовать легкоокисляемые вещества, и многие трудноокисляемые (ароматические амины), содержащиеся в промышленных сточных водах, не используются ими. Совместные исследования с ООО «Научно-исследовательским и проектным институтом экологических проблем» позволили сформулировать и применить непрерывный процесс с использованием многоступенчатой анаэробно-аэробной очистки с иммобилизованной микрофлорой.

Проблеманың өзектілігі қазіргі уақытта мұнай-химия саласындағы қазіргі заманғы кәсіпорындарда тазарту құрылыстарында жұмыс істейтін кезеңді әрекет ететін биологиялық тазарту құрылыстары (БТҚ) құрамында анилин (5-тен 141 мг/л-ге дейін) жоғары ағындарды тиісті түрде тазартуды қамтамасыз етпейтіндігіне негізделеді. Қазіргі уақытта жұмыс істеп тұрған БТҚ өндірістік және шаруашылық-тұрмыстық сарқынды суларды араластыру арқылы алынған ағынды су беріледі. Әдетте, микроорганизмдерді жеңіл тотығатын заттар ретінде пайдалануға болады және өнеркәсіптік ағынды суларда кездесетін көптеген қиын тотығатындарды (хош иісті аминдер) пайдаланбайды. «Экологиялық проблемалардың ғылыми-зерттеу және жобалау институты» ЖШҚ-мен бірлескен зерттеулер көп сатылы анаэробты-аэробтық тазартуды иммобилизацияланған микрофлорамен пайдалана отырып, үздіксіз процесті қалыптастыруға және қолдануға мүмкіндік береді.

The urgency of the problem is that in modern petrochemical industry is now the biological sewage treatment plant Batch functioning at treatment facilities do not provide adequately cleaned wastewater with a high content of aniline (from 5 to 141 mg / l). Currently, the existing BOS fed waste water produced by mixing industrial and domestic wastewater. As a rule, microorganisms adapt and use easily oxidizable substances difficult-many (aromatic amines), contained in industrial waste waters, they are not used. Joint research with «Research and Design Institute of Ecological Problems» allowed to formulate and implement a continuous process using a multi-stage anaerobic-aerobic treatment with an immobilized microflora.

Ключевые слова: аппарат биологической очистки сточных вод, биореактор, анаэробный процесс, аэротенк, бионоситель.

Для исследования была проанализирована ситуация на ОАО «Волжский Оргсинтез», где процесс биологической очистки сточных вод является периодическим и заключается в биологическом окислении органических соединений и аммонийного азота, удалении фосфора и стабилизации избыточно активного ила. Кроме биологической очистки предусматривается обеззараживание стоков гипохлоритом натрия (NaOCl).

Анализируя результаты проведенных нами исследований, мы пришли к следующему выводу: биологические очистные сооружения периодического действия, функционирующие на очистных сооружениях, не обеспечивают должным образом очистку стоков с высоким содержанием анилина (от 5 до 141 мг/л). В настоящее время на действующих БОС подается сточная вода, полученная смешиванием производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод. Микроорганизмы как правило, приспосабливаются использовать легкоокисляемые вещества, и многие трудноокисляемые

(ароматические амины), содержащиеся в промышленных сточных водах, не используются ими. Возможность и скорость восстановления состава и структуры биоценоза активного ила после разрушающего воздействия токсичных веществ (в частности, ароматических аминов) зависит от применения или неприменения комплекса мероприятий, обеспечивающих его удовлетворительное состояние.

Система биологической очистки периодического действия в целом не позволяет достичь требуемого качества очистки сточных вод. Периодический способ (его называют статическим культивированием) нецелесообразен в промышленном масштабе. Микроорганизмы активного ила, находясь в замкнутом резервуаре, постоянно находятся в меняющихся условиях. Микроорганизмы растут до тех пор, пока не будет исчерпан какой-либо необходимый для их жизнедеятельности компонент или концентрация их собственных продуктов метаболизма не начнет угнетать рост культур активного ила. Это приводит к неустойчивому и несбалансированному нарастанию биомассы, недостатку времени для полноценного развития биоценоза активного ила, образованию анаэробных зон, вспуханию активного ила. облигатные аэробные и анаэробные микроорганизмы находятся во взвешенном состоянии в аэротенках и быстро вымываются из системы биологической очистки, поскольку они характеризуются значительно меньшими величинами скорости роста, чем факультативные [1-4].

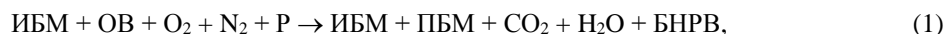
Для решения данной проблемы мы предлагаем заменить существующую систему БОС периодического действия на непрерывный процесс с использованием многоступенчатой анаэробно-аэробной очистки с иммобилизованной микрофлорой. Рост микроорганизмов активного ила в непрерывной культуре является продолжением роста в периодическом культивировании.

Анаэробный биореактор предназначен для анаэробного (без доступа кислорода) сбраживания промышленных сточных вод в результате жизнедеятельности анаэробных микроорганизмов.

В основе биохимического процесса анаэробного разложения в анаэробных реакторах лежит способность сообществ микроорганизмов в ходе своей жизнедеятельности окислять органические вещества, содержащиеся в промышленных сточных водах. Анаэробное разложение органических веществ осуществляется в две стадии группой бактерий, которые подразделяется на две подгруппы: кислотообразующие и ацетогенные бактерии. Первая стадия – стадия ферментации (брожения) ароматических кислот до более простых веществ – низших кислот и спиртов, при этом образуются также угольная кислота и водород. На первой стадии процесса функционируют микроорганизмы, которые ферментируют органические кислоты, более сложные, чем ацетат и спирты, более сложные, чем метанол. Вторая стадия – образование ацетата, водорода, угольной кислоты. На стадии ферментации в процессе участвуют две различные группы микроорганизмов - ацетогенные и гомоацетатные. Ацетогенные – водородпродуцирующие микроорганизмы ферментируют спирты и органические кислоты, более сложные, чем ацетат. В результате деятельности ацетогенных микроорганизмов образуются водород, двуокись углерода, низшие жирные кислоты, в основном ацетат и спирты, а также некоторые другие низкомолекулярные соединения. Гомоацетатные микроорганизмы усваивают водород и двуокись углерода, а также некоторые одноуглеродные соединения, преобразуя через стадию образования ацетил-КоА в низкомолекулярные кислоты, в основном ацетат. Часть микрофлоры анаэробных ферментов составляют анаэробные и факультативно-анаэробные микроорганизмы [1-4].

Роль анаэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов заключается в снижении окислительно-восстановительного потенциала (E_h) и создании факторов роста бактерий. Процесс биохимического анаэробного разложения характеризуется составом и объемом выделяющегося газа, химическим составом и качеством очищенной сточной воды. Брожение может протекать в диапазонах температур от 0 до 97 °С. Однако наиболее оптимальными являются интервалы температур 35÷40 °С для мезофильного процесса и 50÷55 °С для термофильного. Эти температуры являются оптимальными, соответственно, для мезофильной и термофильной микрофлоры. Микрофлора мезофильного режима богаче по количеству и разнообразию видов, чем микрофлора термофильных сообществ. Несмотря на это, температурный режим влияет только на скорость процесса.

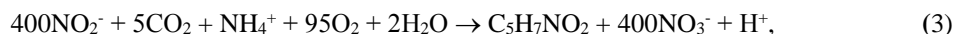
Механизм биологического окисления органических веществ в аэробных условиях гетеротрофными бактериями может быть представлен следующей схемой:



где ИБМ – исходная биомасса микроорганизмов; ОВ – органические вещества; ПБМ – прирастающая биомасса микроорганизмов; БНРВ – биологически неокисляемые растворенные вещества.

Реакция (1) символизирует окисление исходных органических загрязнений стока и образование новой биомассы. В очищенном стоке остаются биологически неокисляемые вещества, преимущественно в растворенном состоянии, так как коллоидные и нерастворенные вещества удаляются из воды методом сорбции.

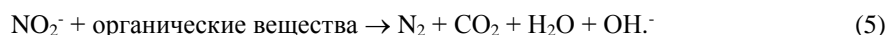
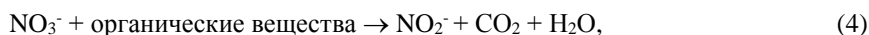
Примером окисления автотрофами может быть процесс нитрификации:



где $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ – символ состава органического вещества образующихся клеток микроорганизмов.

Реакцию (2) осуществляют бактерии рода *Nitrosomonas*, при этом они переводят азот аммонийных солей в азот нитритов. Реакцию (3) окисления азота нитритов в азот нитратов проводят бактерии рода *Nitrobacteria*.

Анаэробный процесс денитрификации проходит в две стадии:



Все приведенные здесь ферментативные реакции осуществляются внутри клетки, для чего необходимые элементы питания должны попадать в тело клетки сквозь ее оболочку. Многие исходные органические примеси имеют слишком большие размеры частиц по сравнению с размерами клетки. В связи с этим значительная роль в процессе окисления отводится протекающему вне клетки ферментативному гидролитическому расщеплению крупных молекул и частиц на более мелкие, соизмеримые с размерами клетки.

Принцип действия аппаратов биологической очистки сточных вод основывается на методах непрерывного культивирования микроорганизмов.

Процесс изъятия и потребления микроорганизмами органических примесей, содержащихся в сточных водах, состоит из трех стадий:

- 1) массопередачи органического вещества и кислорода из жидкости к поверхности клетки;
- 2) диффузии вещества и кислорода через полупроницаемую мембрану клетки;
- 3) метаболизма диффундированных продуктов, который сопровождается приростом биомассы, а также выделением энергии, диоксида углерода и т.д.

Бактерии-деструкторы активного ила при непрерывном культивировании находятся в состоянии «физиологической молодости», поэтому такая система лучше приспособлена для динамики размножения, чем другие системы. В непрерывном биореакторе существует установившийся режим при постоянной концентрации лимитирующего субстрата и отборных микроорганизмов, что означает преобладание установившегося режима и во внутриклеточных ферментных системах, преобразующих в этих условиях субстрат с постоянной скоростью. У непрерывного культивирования создаются в отдельных сосудах сходные условия: от одноступенчатой системы они отличаются невозможностью вымывания микроорганизмов активного ила. Каждый биореактор, работающий параллельно, состоит из пяти конусообразных сообщающихся емкостей, разделенных вертикальными переливными перегородками. Секционирование процесса биологической очистки позволяет сформировать эффективную трофическую цепочку гидробионтов, в которой сами микроорганизмы активного ила и продукты их метаболизма с начальной стадии очистки являются питательной средой для микроорганизмов последующих стадий. Разрушение загрязнителей в предлагаемых БОС идет как в анаэробных, так и в аэробных условиях, что позволяет обеспечить высокий эффект очистки сооружений. Другой важной отличительной особенностью предлагаемых нами сооружений очистки сточных вод

является использование биотехнологий с иммобилизованным на инертном бионосителе (загрузке) активным илом. Благодаря шероховатой сетчатой структуре загрузка хорошо удерживает биопленку, которая не выносится из сооружения при залповых поступлениях сточных вод. Это позволяет создавать и поддерживать в биореакторах высокие концентрации микроорганизмов-деструкторов, повышает устойчивость системы к неравномерному режиму подачи стоков на очистку и неоднородности их качественного состава. Повышается «возраст» микроорганизмов активного ила. Активные свойства ила зависят от возраста. Возраст активного ила – среднее время пребывания хлопьев ила в системе «аэротенк – вторичный отстойник». Его величина обратно пропорциональна скорости прироста ила. При возрастании выноса ила уменьшается его прирост, ослабляются окислительные свойства и сокращается скорость извлечения субстрата: возраст ила увеличивается. Хорошее окисление могут производить только активные живые клетки, которые способны быстро извлекать загрязняющие вещества. Считается, что оптимальным возрастом активного ила является 8 суток. Использование иммобилизованных на бионосителе клеток микроорганизмов позволяет сформировать ту трофическую цепь в активном иле, благодаря функционированию которой происходит полная деструкция всех загрязнителей поступающих сточных вод.

В предлагаемом нами КОСВ произведена замена устаревшей системы аэрации на высокоэффективную мелкопузырчатую аэрацию с применением аэраторов из пористого металла в частности металлокерамического, выполненного из спеченного порошка титана, отличающегося устойчивостью к агрессивным средам, длительным сроком службы, неприхотливостью в эксплуатации. Основным преимуществом аэраторов из пористого металла является меньшее удельное сопротивление (в 3-4 раза) при меньшем размере пор (следовательно, при меньшем размере пузырьков – до 150 мкм), что позволяет минимизировать взмучивание ила. Нет необходимости активного перемешивания. Аэраторы, благодаря заложенным в них «know-how», исключают образование в аэротенке анаэробных зон, такие аэротенки подвержены меньшему биообрастанию, чем керамические и полимерные, что существенно увеличивает срок службы до регенерации. Иммобилизованные формы микроорганизмов позволяют отказаться от регенераторов активного ила. При периодической системе БОС основная масса активного ила, отстаивающегося во вторичном отстойнике, должна перекачиваться снова в аэротенк. Это циркуляционный активный ил, который попадает в аэротенк через регенератор.

Предлагаемое нами оборудование принципиально меняет не только технологический процесс, используя современные высокоэффективные технические решения, но и саму концепцию технического оснащения и управления процессом.

Очистные сооружения производственных сточных вод производительностью 2000 м³/сут. состоят из пяти технологических линий, каждая из которых имеет в своем составе:

- первичный отстойник с тонкослойным модулем;
- биореактор очистки;
- вторичный отстойник с тонкослойным модулем;
- блок механической и сорбционной доочистки;
- обеззараживание на УФ-установках.

Общими для пяти линий являются: блок нейтрализации стоков, блок приготовления и подачи раствора коагулянта, воздухоподводки. Контроль технологического процесса в части формирования микрофлоры осуществляется по оригинальной методике, описанной в авторской монографии [5]. Комплекс очистки сточных вод имеет сертификаты соответствия № РОСС RU.ПВ03.В00111, РОСС RU.ПВ03.В00112, РОСС RU.ПВ03.В00113.

Превосходство способа, по сравнению с другими способами, заключается в его низкой себестоимости, высокой производительности и применении собственных разработок, не имеющих у конкурентов [6-12].

Список литературы

1. Гвоздяк П.И. Микробиология и биотехнология очистки воды // Химия и технология воды. – 1989. – Т. 11. – № 9. – С. 854-859.

2. ГН 2.1.5.689-98 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) в воде водоема объектов питьевого и хозяйственно-бытового водопользования».
3. ГН 2.1.5.9639-00 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов питьевого и хозяйственно-бытового водопользования» (Дополнения).
4. Карелин Я.А., Жуков Д.Д., Жуков В.Н. Очистка производственных сточных вод в аэротенках. – М.: Стройиздат, 1973. – 351 с.
5. Соловых Г.Н., Левин Е.В., Пастухова Г.В. Биотехнологическое направление в решении экологических проблем. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 295 с.
6. Левин Е.В., Пастухова Г.В., Деманов В.А. Установка микробиологической очистки сточных вод «УМО» // Совершенствование технологических процессов пищевой промышленности и АПК: Тез. докл. Российской научно-техн. конф. – Оренбург, 1996. – С. 188.
7. Левин Е.В., Деманов В.А., Пастухова Г.В. Ликвидация последствий загрязнения поверхности природных вод нефтяными разливами // Проблемы прогнозирования, предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: Тез. докл. III Всесоюзной научно-практ. конф. – Уфа, 2002. – С. 195-197.
8. Левин Е.В., Пастухова Г.В. Ликвидация последствий органических загрязнений почвы при аварийных разливах с помощью микроорганизмов // Проблемы прогнозирования, предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: Тез. докл. III Всесоюзной научно-практ. конф. – Уфа, 2002. – С. 197-198.
9. Левин Е.В., Пастухова Г.В., Деманов В.А. Очистка почв от загрязнения нефтью и нефтепродуктами с использованием микроорганизмов // Актуальные проблемы ветеринарной медицины и биологии: Материалы Междунар. научно-практ. конф. – Оренбург: Оренбургская губерния, 2003. – С. 419-423.
10. Левин Е.В., Пастухова Г.В., Деманов В.А. Биологическая очистка нефтесодержащих сточных вод // Актуальные проблемы ветеринарной медицины и биологии: Материалы Междунар. научно-практ. конф. – Оренбург: Оренбургская губерния, 2003. – С. 423-426.
11. Левин Е.В., Пастухова Г.В., Деманов В.А. Сравнительный анализ видового состава микроорганизмов здоровых и загрязненных нефтью почв разных типов // Актуальные проблемы ветеринарной медицины и биологии: Материалы Междунар. научно-практ. конф. – Оренбург: Оренбургская губерния, 2003. – С. 427-429.
12. Патент РФ № 2238247, опубл. 20.10.2004. Установка микробиологической очистки сточных вод / Левин Е.В., Пастухова Г.В., Деманов В.А.

Получено 21.07.2020

МРНТИ 29.37.17, 37.21.77

Е.В. Блинаяева, Н.С. Блинаяева, С.С. Смаилова, В.С. Яковлев

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

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕФТИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ САРЫБУЛАК С НЕФТЯМИ ДРУГИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В статье проводится сравнительный анализ нефти казахстанского месторождения Сарыбулак с нефтями российских месторождений. Приводятся результаты исследований обработанных инфразвуком проб нефти в лаборатории «САТум» Восточно-Казахстанского технического университета.

Мақалада Қазақстанның Сарыбұлақ кен орнының мұнайын Ресей кен орындарының мұнайдарымен салыстырмалы талдау жүргізіледі. Шығыс Қазақстан техникалық университетінің «СА-Тум» зертханасында инфрадыбыспен өңделген мұнай сынамаларын зерттеу нәтижелері келтіріледі.

The article compares the oil of Kazakhstan's Sarybulak field with the oils of Russian fields. The results of researches of oil samples processed by infrasound in the laboratory of "SATUM" of the East Kazakhstan Technical University are given.

Ключевые слова: вязкость нефти, обработка нефти инфразвуком.

В работе «Критерии подбора объектов воздействия для повышения нефтеотдачи» ученых Южно-Казахстанского государственного университета им. М. Ауэзова д.т.н., проф. Голубева В.Г., к.т.н., доцента Жантасова М.К., к.х.н., доцента Орынбасарова А.К., магистров Жантасовой Д.М., Бесбаевой Н.А., Касимовой Ж.Ж. проводился анализ геолого-промысловых материалов месторождения Сарыбулак, физико-химические свойства насыщающих пласт нефти и воды.

По предварительной оценке, в результате эксплуатации на месторождении может оставаться около 50 % запасов высоковязких нефтей. Физико-химический состав нефти данного месторождения может быть представлен следующими данными: плотность нефти – 812...819 кг/м³; содержание серы – 0,11...0,52 %; парафинов – 10,8...11,5 %; асфальтенов – 0,11...0,92 %; смол 4,8...8,42 % [1-3].

В работе И.Г. Яценко «Сравнительный анализ свойств вязких парафинистых нефтей России и Казахстана» приведены результаты исследования физико-химических параметров и состава вязкой парафинистой нефти (ВПН) месторождений Казахстана. В качестве объектов исследования выбраны 13 месторождений из Прикаспийского (6 месторождений), Северо-Кавказского (5 месторождений) и Туранского (2 месторождения) бассейнов. Месторождение Карачаганак является по своим ресурсам крупнейшим в мире нефтегазоконденсатным месторождением.

В табл. 1 представлены физико-химические свойства российских ВПН.

Таблица 1

Физико-химические свойства ВПН месторождений России

Показатель нефти	Объем выборки	Среднее значение
Плотность, г/см ³	76	0,8833
Вязкость, мм ² /с	77	68,15
Содержание серы, % мас.	70	1,86
Содержание парафинов, % мас.	77	8,49
Содержание смол, % мас.	73	11,95
Содержание асфальтенов, % мас.	71	3,46
Фракция н.к. 200°C, % мас.	23	13,55
Фракция н.к. 300°C, % мас.	22	30,11
Фракция н.к. 350°C, % мас.	13	40,04
Газосодержание нефти, м ³ /т	35	55,83
Содержание кокса, % мас.	20	5,58

В табл. 2 представлена информация о физико-химических свойствах казахстанских ВПН.

Таблица 2

Физико-химические свойства ВПН месторождений Казахстана

Показатель нефти	Объем выборки	Среднее значение
Плотность, г/см ³	13	0,87
Вязкость, мм ² /с	13	210,48
Содержание серы, % мас.	12	0,51
Содержание парафинов, % мас.	13	16,00
Содержание смол, % мас.	13	10,16
Содержание асфальтенов, % мас.	13	2,79

Окончание таблицы 2

Показатель нефти	Объем выборки	Среднее значение
Фракция н.к. 200°C, % мас.	12	13,34
Фракция н.к. 300°C, % мас.	11	31,55
Фракция н.к. 350°C, % мас.	10	37,19
Газосодержание нефти, м³/т	1	54,00
Содержание кокса, % мас.	10	3,47

По результатам статистического анализа ВПН Казахстана являются в среднем вязкими, относятся к подклассу «высоковязкая» (100...500 мм²/с), средними по плотности (0,84...0,88 г/см³), парафинистыми, относятся к подклассу «высокопарафинистая» (10...20 %), среднесернистыми (0,5...1 %), смолистыми (8...13 %), малоасфальтовыми (до 3 %), с низким содержанием фракции н.к. 200 °С (<20 %) и средним содержанием фракции н.к. 300 °С (25...50 %).

Сравнивая результаты табл. 1 и 2, можно сказать, что казахстанские ВПН по сравнению с российскими являются менее тяжелыми, но более вязкими (их вязкость выше в три раза), с большим содержанием парафинов (превышение в два раза), но с меньшим выходом дизельных фракций, меньшим содержанием серы (более чем в 3,5 раза), смол и асфальтенов (меньше на 25 %), коксуемость ниже почти в два раза.

Были рассмотрены изменения плотности и температуры застывания в зависимости от содержания парафинов в казахстанских ВПН. Для месторождения Уртатау-Сарыбулак концентрация парафинов составила 6,51 %, а для месторождения Акжар – почти 45 %. Наблюдается явная зависимость между изменением плотности и содержанием парафинов в казахстанских ВПН: чем выше концентрация парафинов, тем плотность нефти меньше.

Температура застывания для казахстанских ВПН в зависимости от содержания в них парафинов имеет явную тенденцию к увеличению при повышении содержания парафинов. Так, в нефти в ряду месторождений Уртатау – Сарыбулак – Ачисай концентрация парафинов изменяется от 6,5 до 23 %, температура застывания нефти – примерно от +2 °С до +20 °С.

Следовательно, можно сделать вывод, что по реологическим параметрам казахстанские ВПН уступают российским, так как в них наблюдается превышение концентрации парафинов в два раза, вязкости – в три раза, температуры застывания – в два раза и меньшее содержание фракции, выкипающей до 350 °С.

Можно сказать, что наблюдаемые различия реологических свойств нефтей России и Казахстана напрямую связаны с их компонентным составом, поскольку нефть является сложной по химическому составу смесью компонентов, которые в зависимости от строения и внешних условий могут находиться в разных агрегатных состояниях. При стремлении температуры к температуре застывания происходит образование центров кристаллизации и рост кристаллов парафинов. В процессе дальнейшей кристаллизации формируется уже структурированная система, трехмерный каркас которой связывает жидкую фазу нефти. Возникновение такой гелеподобной структуры препятствует течению нефти, обуславливает ее аномальные вязкопластичные свойства и приводит к потере текучести [2].

После проведения в 2018 году экспериментов с образцами сырой нефти месторождения Сарыбулак (районы Зайсана и Тарбагатая), заключавшимися в обработке проб нефти звуками низкой частоты при различной частоте и различном времени воздействия, обработанные и контрольные (не подвергнутые воздействию инфразвука) образцы были исследованы в лаборатории «САТиМ» ВКГТУ (ныне ВКТУ) им. Д. Серикбаева.

Лаборатория «САТиМ» оснащена необходимым оборудованием для определения характеристик нефти и нефтепродуктов.

В рамках работы над проектом использовалось оборудование, представленное в табл. 3.

Таблица 3

Перечень используемого оборудования лаборатории «САТиМ»

	<p>Прибор для определения температуры застывания и помутнения ЛАЗ-93М1. Назначение – Определение температуры помутнения и застывания. Год ввода в эксплуатацию – 2008.</p>
	<p>Рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный анализатор «Спектроскан S». Назначение – Определение доли серы. Год ввода в эксплуатацию – 2011.</p>
	<p>Аппарат для разгонки нефтепродуктов АРНС-1Э (Белгородский опытный завод НПО «Нефтехимавтоматика»). Назначение – Определение фракционного состава. Год ввода в эксплуатацию – 2005.</p>

Результаты измерения вязкости нефти и процентного содержания серы экспериментальных образцов представлены на рис. 2 и табл. 3.

<p>1</p> <pre> ***** Дата: 16-08-2018 Время: 16:07:00 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.0886 X1-X2 = 0.0176 % ***** </pre>	<p>5</p> <pre> ***** Дата: 16-08-2018 Время: 16:19:44 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.0945 X1-X2 = 0.0071 % ***** </pre>	<p>14</p> <pre> ***** Дата: 16-08-2018 Время: 16:48:40 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.2396 X1-X2 = 0.0011 % ***** </pre>
<p>1</p> <pre> ***** Дата: 16-08-2018 Время: 16:09:57 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.0957 X1-X2 = 0.0008 % ***** </pre>	<p>6</p> <pre> ***** Дата: 16-08-2018 Время: 16:36:56 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.1033 X1-X2 = 0.0133 % ***** </pre>	<p>15</p> <pre> ***** Дата: 16-08-2018 Время: 16:51:44 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.2226 X1-X2 = 0.1305 % ***** </pre>
<p>3</p> <pre> ***** Дата: 16-08-2018 Время: 16:13:46 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.0923 X1-X2 = 0.0031 % ***** </pre>	<p>7</p> <pre> ***** Дата: 16-08-2018 Время: 16:39:48 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.0424 X1-X2 = 0.0086 % ***** </pre>	<p>16</p> <pre> ***** Дата: 16-08-2018 Время: 16:54:46 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.0351 X1-X2 = 0.0752 % ***** </pre>
<p>4</p> <pre> ***** Дата: 16-08-2018 Время: 16:16:50 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.1134 X1-X2 = 0.0503 % ***** </pre>	<p>12</p> <pre> ***** Дата: 16-08-2018 Время: 16:42:49 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.0987 X1-X2 = 0.0024 % ***** </pre>	<p>18</p> <pre> ***** Дата: 16-08-2018 Время: 16:57:49 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.1731 X1-X2 = 0.0228 % ***** </pre>
	<p>13</p> <pre> ***** Дата: 16-08-2018 Время: 16:45:34 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.2736 X1-X2 = 0.0342 % ***** </pre>	<p>24</p> <pre> ***** Дата: 16-08-2018 Время: 17:00:50 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.2353 X1-X2 = 0.0199 % ***** </pre>

Рисунок 2 – Результаты определения процентного содержания серы экспериментальных образцов, лист 1

<p>18</p> <pre> ***** Дата: 22-10-2018 Время: 17:03:50 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.0858 X1-X2 = 0.0241 % ***** </pre>	<p>19</p> <pre> ***** Дата: 22-10-2018 Время: 17:20:08 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.2785 X1-X2 = 0.0398 % ***** </pre>	<p>22</p> <pre> ***** Дата: 22-10-2018 Время: 17:32:00 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.2474 X1-X2 = 0.0119 % ***** </pre>
<p>9</p> <pre> ***** Дата: 22-10-2018 Время: 17:06:49 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.0843 X1-X2 = 0.0170 % ***** </pre>	<p>20</p> <pre> ***** Дата: 22-10-2018 Время: 17:24:08 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.1507 X1-X2 = 0.0365 % ***** </pre>	<p>23</p> <pre> ***** Дата: 22-10-2018 Время: 17:35:57 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.2664 X1-X2 = 0.0776 % ***** </pre>
<p>10</p> <pre> ***** Дата: 22-10-2018 Время: 17:09:44 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.0671 X1-X2 = 0.0220 % ***** </pre>	<p>28</p> <pre> ***** Дата: 22-10-2018 Время: 17:27:48 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.2525 X1-X2 = 0.1484 % ***** </pre>	<p>25</p> <pre> ***** Дата: 22-10-2018 Время: 17:39:57 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.0812 X1-X2 = 0.0098 % ***** </pre>
<p>11</p> <pre> ***** Дата: 22-10-2018 Время: 17:12:38 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.0801 X1-X2 = 0.0006 % ***** </pre>	<p>22</p> <pre> ***** Дата: 22-10-2018 Время: 17:32:00 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.2474 X1-X2 = 0.0119 % ***** </pre>	<p>26</p> <pre> ***** Дата: 22-10-2018 Время: 17:43:48 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.2951 X1-X2 = 0.0607 % ***** </pre>
<p>17</p> <pre> ***** Дата: 22-10-2018 Время: 17:16:09 Оператор: САТИМ Проба: ***** % масс. = 0.1850 X1-X2 = 0.1086 % ***** </pre>		

Рисунок 2 – Результаты определения процентного содержания серы экспериментальных образцов, лист 2

Таблица 3

Результаты определения вязкости экспериментальных образцов

Температура испытания – 17-18 град.				Температура испытания – 20-21 град.			
проба	время, сек	постоянная вискозиметра	вязкость	проба	время, сек	постоянная вискозиметра	вязкость
1	151	0,2515	37,977	20	192	0,2915	55,968
2	184	0,2915	53,636	19	188	0,2515	47,282
3	189	0,2915	55,094	22	165	0,2915	48,0975
4	174	0,2515	43,761	17	218	0,2515	54,827
5	173	0,2515	43,51	23	246	0,2915	71,709
6	127	0,2915	37,021	9	119	0,2515	29,9285
7	163	0,2515	40,995	11	124	0,2915	36,146
12	129	0,2915	37,604	21	168	0,2515	42,252
13	287	0,2915	83,66	26	224	0,2915	65,296
14	249	0,2515	72,584	10	111	0,2515	27,9165
15	284	0,2515	71,426	25	105	0,2915	30,6075
16	337	0,2515	84,755	8	132	0,2515	33,198
18	226	0,2515	56,839				
24	270	0,2915	78,705				

Сравнительный анализ полученных после обработки инфразвуком значений по вязкости и содержанию серы в нефти исследуемых месторождений показал, что в тарбагатайской нефти вязкость и процент содержания серы уменьшились в среднем на 30 %. По нефти зайсанского месторождения аналогичные показатели составили около 1 %.

Список литературы

1. Газизов А.А. Увеличение нефтеотдачи неоднородных пластов на поздней стадии разработки / А.А. Газизов. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2002. – 452 с.
2. Махмотов Е.С. Особенности углеводородного состава и реологических свойств парафинистых нефтей месторождений Южного Торгая / Е.С. Махмотов, Т.К. Алдыяров, В.Б. Сагитов, С.Г. Алексеев, А.Г. Дидух // Нефть и газ (Алматы). – 2010 г. – №4 (58). – 69-75 с.
3. Газизов А.А. Технологии комплексного действия – эффективное решение проблемы повышения нефтеотдачи пластов с трудноизвлекаемыми запасами / А.А. Газизов, С.К. Дузбаев, С.А. Утегалиев // Нефтегаз. – 2005. – № 3. – 72-75 с.

Получено 21.07.2020

МРНТИ 55.55.31

М.В. Дудкин¹, А.И. Ким¹, М. Młyńczak², Е.Л. Дудкина¹, Н.В. Хон¹

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

²Wrocław University of Science and Technology, Poland

РАЗРАБОТКА, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И КОРРЕКТИРОВКА КОНСТРУКЦИИ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОГО ОБРАЗЦА ЛЬДОСКАЛЫВАТЕЛЯ С РАБОЧИМ ОРГАНОМ РЕЖУЩЕ-СКАЛЫВАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ НА УПРУГОМ ПОДВЕСЕ (ПРОЕКТ КН МОН РК АР05130653)

В работе описан процесс изготовления и работы опытно-промышленного образца (ОПО) льдоскалывателя с рабочим органом режущо-скалывающего действия, сделан расчет рабочих параметров конструкции льдоскалывателя, выполнена корректировка некоторых конструктивных и технологических решений, определены минимальные энергозатраты, затраченные на разрушение 1 м³ снежно-ледяных или ледяных покрытий дорожного основания, обоснована конструкция льдоскалывателя с упругим подвесом рабочего органа режущо-скалывающего действия.

Жұмыста қырағыш-ойғыш жұмыс мүшесімен жабдықталған мұзойғыштың тәжірибелік-өнеркәсіптік үлгісінің (ТӨҮ) жұмысы және дайындау үдерісі, мұзойғыш құрылымының жұмыс параметрлерінің есебі, кейбір конструктивтік және технологиялық шешімдердің түзетуі, жол негізінің 1 м³ қарлы-мұзды немесе мұзды жамылғыларын бұзуға жұмсалған минималды энергия шығындары анықталған және мұзойғыштың серпімді ілмекті жұмыс мүшесінің құрылымы негізделген.

The paper describes the manufacturing process and the operation of a pilot industrial design (PID) of an ice breaker with the working body of cutting-cleaving action. The operating parameters of the ice breaker design are calculated, some design and technological solutions are corrected, the minimum energy consumption required to destroy 1 m³ of snow-ice or ice coatings of the road base is determined. The design of the ice breaker with an elastic suspension of the working organ-shearing action is justified.

Ключевые слова: льдоскалыватель, содержание дорог, бойки, скалывание льда, снежно-ледяные образования

Введение. Приведенные в данной статье результаты получены при выполнении проекта АР05130653 (договор с МОН РК № 104 от 05.03.2018 г.) «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время» в период с декабря 2019 по март 2020 г. Целью проекта является разработка и изготовление конструкции, технической документации, технологии изготовления и испытания опытного промышленного образца льдоскалывателя, патентная защита полученных результатов разработки льдоскалывателя с перспективой коммерциализации и организации сборочно-сервисного производства в г. Усть-Каменогорске. Актуальность проекта заключается в полном отсутствии подобных агрегатов и технологических решений на рынке коммунальной техники в Республике Казахстан.

Предпосылки к разработке новой конструкции льдоскалывателя. Минимальные энергозатраты, затраченные на разрушение 1 м³ снежно-ледяных или ледяных покрытий дорожного основания, являются важнейшим показателем эффективности льдоскалывающей техники. Старые принципы, технологии и средства очистки дорог от снежно-ледяного наката оказались в большей части малоэффективными и неспособными снизить эти затраты [1].

Для разрушения льда требуется применять новые подходы к воздействию на разрушаемый материал, оставляющие при этом в целостности несущий слой автомобильных дорог.

Данная статья представляет разработку льдоскалывающего оборудования, генерирующего сложное режуще-скалывающее воздействие на разрушаемый слой ледяного наката на автодорогах и тротуарах [1, 2, 3].

Суть работы нового рабочего органа заключается в сложном колебании рабочей, скалывающей части льдоскалывателя в вертикальной и горизонтально-поступательной плоскости, с возможностью одновременного возвратно-поступательного колебания поперек движения машины, с симметричным отклонением от оси движения льдоскалывателя.

Дополнительно к этим движениям и колебаниям рабочего органа добавляется возможность изменения длины рабочего органа в такт собственным колебаниям. В разработанной конструкции льдоскалывателя нагрузки действуют вертикально, но имеют возможность последующего горизонтального смещения скалывающей части упругого рабочего органа.

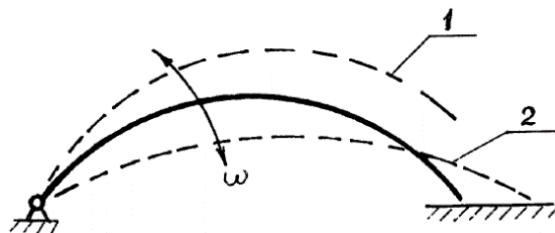


Рисунок 1 – Принцип работы упругого рабочего органа льдоскалывателя скалывающе-режущего действия:

— — — крайние положения упругого элемента под действием возмущающей силы;

1 – верхнее положение; 2 – нижнее деформированное положение

Это достигается путем одновременной деформации упругой криволинейной рессоры, являющейся упругим телом рабочего органа, вниз и вперед, как показано на рис. 1, а затем циклически наоборот – вверх и назад.

Криволинейный брус-рессора одним концом шарнирно закреплен на корпусе мотоблока, второй конец, оснащенный скалывающе-режущим элементом (кромкой), остается свободным (рис. 2).

Колебания рессоре задает вибровозбудитель, смонтированный на самой рессоре, с заранее просчитанными характеристиками, обеспечивающими функционирование данной конструкции льдоскалывателя.

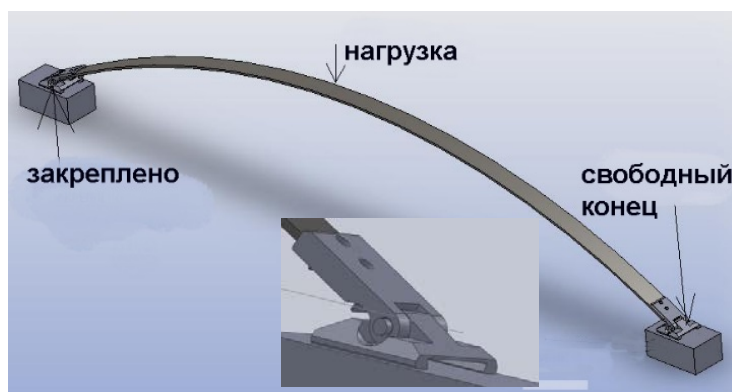


Рисунок 2 – Лабораторная схема деформации единичной рессоры: во вставке показан увеличенный свободный конец упругой рессоры

Расчёт параметров деформации упругого бруса-рессоры. Представим упругую рессору как балку с прямолинейной осью и рассмотрим изменение формы упругой рессоры под нагрузкой пролетом l , подвижно закрепленной концами и подгруженной распределённой силой и сосредоточенной нагрузкой, а также определим величину наибольшего прогиба f_c (рис. 3).

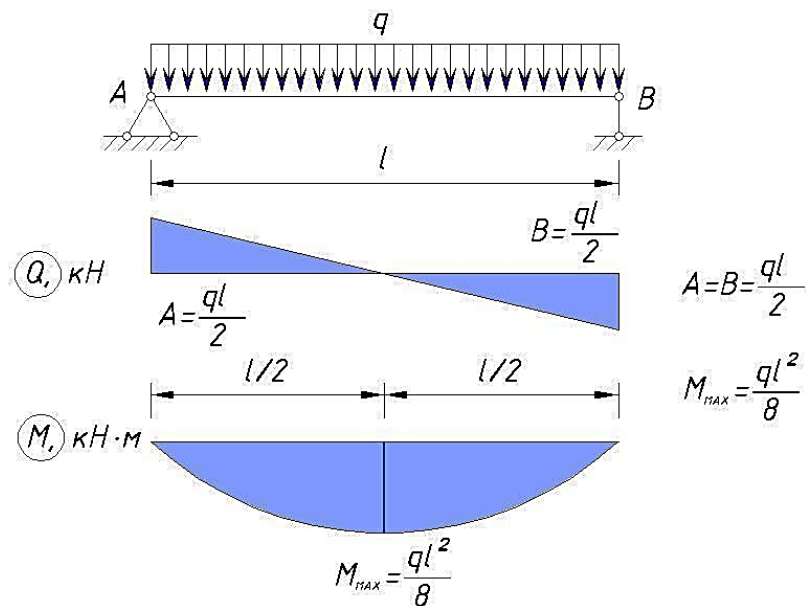


Рисунок 3 – Расчётная схема упругой балки льдоскалывателя

$$f_c = \frac{12Ql^3}{48bs^3E} + \frac{5Gl^3}{384bs^3E}$$

где I – момент инерции сечения; E – модуль упругости; Q – поперечная нагрузка; $g = G/l$ – распределённая нагрузка.

Определим величину наибольшего прогиба f_c для балки с прямолинейной осью, применив геометрические параметры упругой, криволинейной рессоры: длина $l = 1235$ мм; ширина $b = 45$ мм; толщина $s = 6,5$ мм; материал – сталь 65 Г.

Применим изменение нагрузки от 1 кГ до 20 кГ и примем модуль упругости как для легированной стали $E = 2,1 \times 10^5$ МПа, $G = 3,072$ кГ.

Сравнительный анализ показателей показывает, что применение формулы для расчёта деформаций балки с прямолинейной осью неприемлемо для нашего планируемого криволинейного рессорного элемента.

Во-первых, у прямолинейной балки при приложении нагрузки нет перемещения «вперед», которое наиболее важно при реализации принципа подрезания и скалывания в новых условиях работы. Во-вторых, горизонтальное движение «вперед» должно нести на режущей кромке интегральный заряд кинетической энергии, способный разрушить и расколоть снежно-ледяное образование (СЛО) на поверхности автодорог, оставляя в целости их несущую поверхность.

В случае с прямолинейной балкой эти эффекты отсутствуют, а в расчёте просто не предусмотрены эти перемещения из-за их отсутствия.

Поэтому возникает необходимость экспериментального определения деформаций криволинейной упругой рессоры под известной нагрузкой.

Экспериментальное исследование деформации единичной рессоры. Для экспериментальных лабораторных исследований была собрана установка, включающая как саму упругую балку-рессору, так и приборы фиксации перемещений и приложения инерционной нагрузки. Один конец рессоры был шарнирно закреплён на основании, второй оставался подвижным. Нагрузка воздействовала сверху, вертикальные перемещения фиксировались в центре рессоры, горизонтальные перемещения определялись на свободном конце рессоры, передвигающемся туда-обратно по лабораторному столу.

Для проведения замеров (рис. 4, позиция 2) использовался измеритель прогиба упругих листов рессор ИПР-1 (пр-во Омск, РФ) с ценой делений 0,01 мм и диапазоном замера стрелы прогиба упругой рессоры 0-90 мм.

Иначе говоря, нагружалась середина рессоры 1 весовой нагрузкой 3, увеличение которой автоматически выводило на компьютер вертикальное проседание рессоры, а горизонтальное перемещение свободного конца рессоры протекало по тарированной сетке на поверхности лабораторного стола.

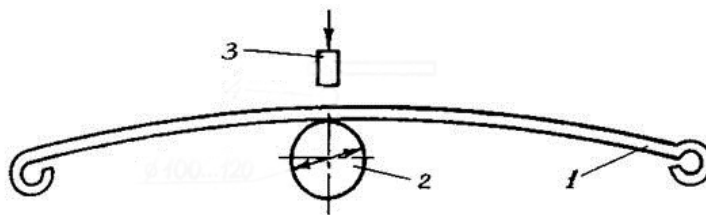


Рисунок 4 – Схема измерения деформации упругой рессоры

Зависимость связывает нагрузку и деформацию рессоры в некий «тарировочный» график (рис. 5): если надо определить величину деформации для определенной силы или нагрузки, то по графику можно увидеть, насколько изменит свои параметры упругая рессора при воздействии именно этой нагрузки. Точно так же, пользуясь данным графиком, по величине известной деформации рессоры можно определить требуемую силу воздействия, чтобы заранее подобрать источник этой силы. Например, если величина вертикальной деформации составляет 11,5 мм, тогда в весовом исчислении нагрузка должна быть подобрана не меньше (равна) 10 кГ.

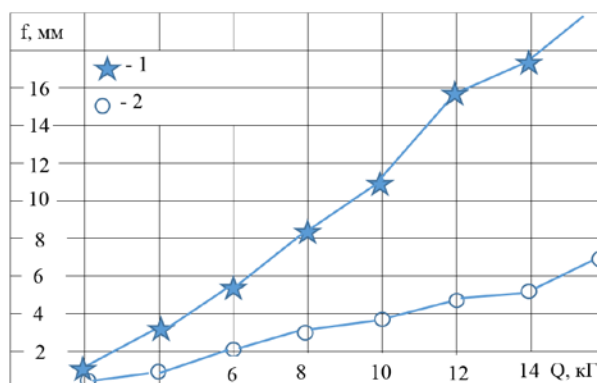


Рисунок 5 – График замеров упругой деформации рессоры: 1 – вертикальное перемещение; 2 – горизонтальное перемещение

График на рис. 5 дает доказательство того, что упругая рессора, применяемая в качестве рабочего органа льдоскалывателя, действительно будет изменять свою длину, а, значит, под нагрузкой будет скалывать СЛО

Разработка конструкции льдоскалывателя с упругим рабочим органом. По приведенным выше исследованиям была спроектирована, разработана и собрана рабочая модель (опытный образец) скалывающе-режущего льдоскалывателя, оснащенного упругой рессорой с вибровозбудителем, выступающей в качестве рабочего органа.

Под раму крепления упругой рессоры установлена лыжа для задания высоты работы льдоскалывателя. Под упругую рессору установлена пружина повышенной жесткости, которая крепится к раме с возможностью поворота вокруг вертикальной оси (рис. 6-7).

Так как рессора упирается в пружину (рис. 6, 7) и этим упиранием задается высота контакта упругой рессоры с разрушаемым СЛО, то поворотом пружины вокруг ее вертикальной оси задается угол контакта режущего ножа рессоры и СЛО.



Рисунок 6 – Опытный образец льдоскалывателя с упругим рабочим органом в натуральную величину



Рисунок 7 – Установка пружины под упругой рессорой и соединение вибровозбудителя гибким валом с приводным двигателем

Заключение. В данной работе разработан упругий рабочий орган льдоскалывателя для зимнего содержания автомобильных дорог и тротуаров, состоящий из упругого скалывающего рабочего органа ударно-режущего действия, позволяющего эффективно бороться с СЛЮ и обледенениями на автомобильных дорогах и тротуарах.

Применение упругого рабочего органа может значительно повлиять на работу и эффективность деятельности ЖКХ: увеличить скорость разрушения СЛЮ и тонкого льда, и очистки от них придомовых и придомовых территорий, что позволит улучшить общее состояние тротуаров и дорог в зимний период, значительно снизив их травмоопасность, и уменьшить расходы на их содержание.

Разработанный образец самоходного льдоскалывателя с упругим рабочим органом предлагается всем заинтересованным лицам и организациям для промышленной доработки, применения и внедрения.

Список литературы

1. M. Doudkin, A. Kim, G. Guryanov, M. Mlynczak, M. Eleukenov, A. Bugaev, V. Rogovsky. Process modeling and experimental verification of the conditions of ice coverage destruction of automobile roads // JMERD. – Vol.42. – No. 4 (2019). – Pages: 01-08. – <https://jmerd.org.my/jmerd-04-2019-01-08/>
2. S.Yu. Pichugin, S.N. Fadeev. Studying the Machines for Road Maintenance // Life Science Journal 2013;10(12s):134-138. (ISSN:1097-8135). Life Science Journal Edit. Of-fice. P.O. Box 180432. doi:10.7537/marslsj1012s13.24. – <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84887523061&partnerID=MN8TOARS>.
3. Дудкин М.В., Кустарев Г.В., Млынчак М., Гурьянов Г., Ким А., Вавилов А. Разработка скалывающего рабочего органа мобильной машины для разрушения льда. Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2018. – № 3 (54). – С. 67-74.

Получено 21.07.2020

МРНТИ 50.47

М.Г. Емельянова, О.Е. Бакланова

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ БИНАРИЗАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В статье приведены результаты исследования методов бинаризации изображений применительно к задаче обнаружения дефектов сварных соединений. Рассматривается проблема автоматической бинаризации изображений.

Мақалада дәнекерленген қосылыстардың ақауларын табу тапсырмаларына қатысты бейнелерді бинаризациялау әдістерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Бейнелерді автоматты бинаризациялау мәселесі қарастырылады.

The paper presents the research results of image binarization methods to the problem of welding joints defect detection. The problem of automatic binarization is considered.

Ключевые слова: компьютерное зрение, обработка изображений, бинаризация, визуальный контроль, сварные соединения, дефект.

Контроль качества сварных соединений – важнейший этап при производстве сварных труб. Качество должно соответствовать определённым требованиям, от выполнения которых зависит пригодность к эксплуатации. Визуальный контроль проводится оператором сразу после сваривания металла для оперативного обнаружения поверхностных дефектов в сварных соединениях и устранения причин их возникновения.

Целесообразно автоматизировать процесс визуального контроля для исключения влияния субъективного фактора, повышения его достоверности и надёжности. Современная компьютерная техника и технологии дают возможность создавать системы контроля качества сварных соединений на основе методов компьютерного зрения. Применение эффективных методов и алгоритмов позволит учесть все особенности объекта исследования. Основным эффект – оперативное обнаружение и распознавание дефекта сварного соединения в процессе производства сварных труб.

Существуют различные подходы к обнаружению и распознаванию дефектов сварных соединений по изображениям [1]. В классическом подходе одним из этапов обработки изображений является сегментация. Сегментация позволяет отделить дефект от фона. В работе [1] сделан обзор методов, которые используются для сегментации дефектов сварных соединений на изображениях. Одним из методов сегментации является бинаризация по порогу. Основным параметром преобразования полутонового изображения в чёрно-белое изображение является порог t , со значением которого сравнивается яркость всех пикселей. После сравнения пикселю присваивается 0 или 1. Бинаризация уменьшает количество информации, содержащейся на изображении, упрощает последующую обработку.

В работе [2] при автоматическом режиме сегментации предлагается выбор в качестве порога t кода чёрного цвета, при интерактивном режиме – возможность отметить на изображении точки, яркости которых характеризуют дефектную область.

При выборе пороговых методов сегментации возникает проблема нахождения порога яркости. Необходимо исследование методов и реализация алгоритмов поиска оптимального порогового значения. Эффективный алгоритм бинаризации позволит оперативно решить задачу обнаружения дефектов сварных соединений, а также повлияет на выбор методов и алгоритмов дальнейшей обработки и распознавания дефектов.

Целью работы является проведение сравнительного анализа методов бинаризации для решения задачи быстрого поиска дефектов на изображениях сварных соединений нержавеющей стальных труб.

Существуют глобальные (пороговые) и локальные (адаптивные) методы бинаризации. В глобальных методах бинаризации вычисляется значение порога t , которое используется для обработки всех пикселей исходного изображения. В локальных методах значения t вычисляются для каждой из областей пикселей, на которые разбито исходное изображение.

Одним из методов определения порога является разделение гистограммы распределения яркости изображения на две части (объект и фон), если гистограмма имеет бимодальный характер. В таком случае глобальный порог t располагается во впадине между пиками (рис. 1).

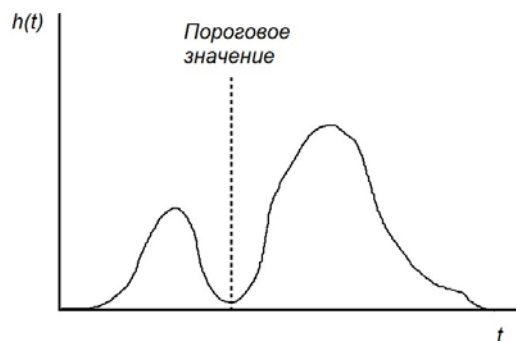


Рисунок 1 – Оптимальное пороговое значение в бимодальной гистограмме распределения яркости полутонового изображения

Универсальным методом пороговой обработки является метод Otsu [3]. Метод Otsu использует гистограмму яркости изображения для определения порога, который помещает между средними значениями яркости объекта и фона так, чтобы максимизировать межклассовую дисперсию.

Пусть $F = \{f_1, f_2, \dots, f_{M \times N}\}$, изображение размером $M \times N$, где f_i – значение яркости i -го пикселя в полутоновом изображении и $f_i \in [0, 1, \dots, L - 1]$. Количество пикселей с уровнем яркости g – $f(g)$.

Частота $h(g)$ появления пикселей с уровнем яркости g определяется по формуле

$$h(g) = \frac{f(g)}{M \times N}, \quad g = 0, 1, \dots, L-1, \quad (1)$$

средний уровень яркости –

$$\mu_T = \sum_{g=0}^{L-1} gh(g). \quad (2)$$

Два класса пикселей изображения $c_0 = [0, 1, \dots, t]$ и $c_1 = [t + 1, \dots, L - 1]$.

Вероятности распределение двух классов:

$$p_0(t) = \sum_{g=0}^t h(g), \quad (3)$$

$$p_1(t) = \sum_{g=t+1}^{L-1} h(g). \quad (4)$$

Средние уровни для каждого из двух классов изображения:

$$\mu_0(t) = \sum_{g=0}^t \frac{gh(g)}{p_0(t)}, \quad (5)$$

$$\mu_1(t) = \sum_{g=t+1}^{L-1} \frac{gh(g)}{p_1(t)}. \quad (6)$$

Оптимальный порог t определяется как

$$t^* = \arg \max_{0 \leq t < L} \sigma_B^2(t), \quad (7)$$

$$\sigma_B^2(t) = p_0(t)(\mu_0(t) - \mu_T)^2 + p_1(t)(\mu_1(t) - \mu_T)^2. \quad (8)$$

Метод Otsu даёт хороший результат, когда гистограмма яркости близка к бимодальному распределению. Порог будет неверным при большом разбросе значений или при унимодальном распределении гистограммы.

Необходимо учесть, что дефекты сварных соединений имеют небольшой размер, поэтому гистограммы изображений с дефектами не показывают бимодального распределения. Следовательно, с помощью метода Otsu нельзя получить оптимальное пороговое значение.

Hui-Fuang Ng [4] предложил метод valley-emphasis, который является взвешенным методом Otsu. Суть метода valley-emphasis заключается в выборе порогового значения, которое имеет малую вероятность появления (впадина на гистограмме яркости), при этом максимизирует межгрупповую дисперсию, как в методе Otsu.

Оптимальный порог определяется как

$$t^* = \arg \max_{0 \leq t < L} \{(1 - h(t))(p_0(t)\mu_0^2(t) + p_1(t)\mu_1^2(t))\}, \quad (9)$$

Jiu-Lun Fan, Bo Lei [5] предлагают модифицированный метод valley-emphasis – метод neighborhood valley-emphasis. Метод учитывает значения вокруг пороговой точки. Оптимальный порог будет иметь малую вероятность его окрестности.

Для гистограммы изображения $\{h(g)\}$ величина $\bar{h}(g)$ определяется как:

$$\bar{h}(g) = [h(g - m) + \dots + h(g - 1) + h(g) + h(g + 1) + \dots + h(g + m)], \quad (10)$$

оптимальный порог –

$$t^* = \arg \max_{0 \leq t < L} \{(1 - \bar{h}(t))(p_0(t)\mu_0^2(t) + p_1(t)\mu_1^2(t))\}. \quad (11)$$

Размер окрестности $n = 2m + 1$.

Методы бинаризации исследованы на изображениях сварных соединений нержавеющей стальной труб, имеющих дефекты. Разработаны алгоритмы и реализованы в среде разработки Visual Studio 2017 на языке программирования C#.

На рис. 2 приведены результаты бинаризации полутонового изображения сварного соединения с дефектом методами Otsu, valley-emphasis, neighborhood valley-emphasis, локализация дефекта на изображении, а также гистограмма распределения яркости изображения с полученными пороговыми значениями. После «правильной» бинаризации полутонового изображения сварного соединения дефекты должны представлять собой чёрные области с минимальными искажениями. Оптимальное пороговое значение даёт метод neighborhood valley-emphasis.

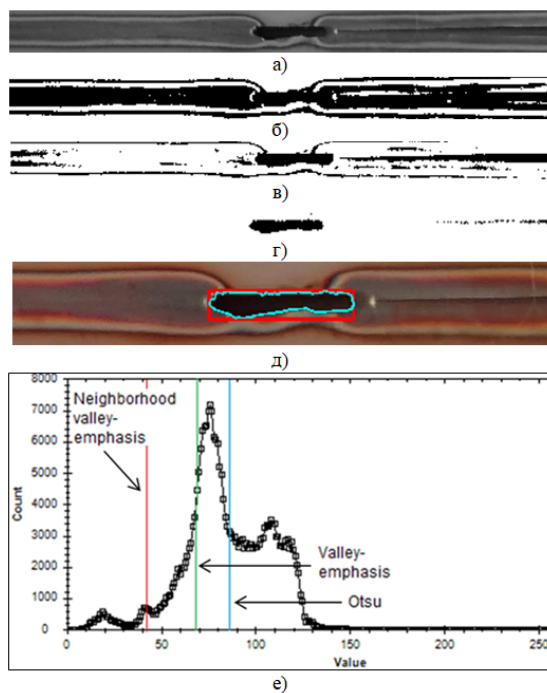


Рисунок 2 – Результаты пороговой бинаризации полутонового изображения сварного соединения с прожогом: а – исходное изображение; б – метод Otsu ($t=87$); в – метод valley-emphasis ($t=69$); г – метод neighborhood valley-emphasis ($t=41$); д – локализация дефекта, е) гистограмма и пороговые значения

Для исследования были выбраны адаптивные методы «Adaptive Mean Thresholding», «Adaptive Gaussian Thresholding», Niblack, Sauvola.

В методе Niblack [5] для каждого пикселя изображения определяется своё значение порога на основе вычисления локального среднего и локального среднеквадратического отклонения. Значение порога для точки с координатами (x, y) определяет как

$$T_{Niblack}(x, y) = m(x, y) + k \cdot s(x, y), \quad (12)$$

где $m(x, y)$ и $s(x, y)$ – локальное среднее и среднеквадратическое отклонение значений яркости пикселей в окрестности точки (x, y) ; k – эмпирическое значение ($k=0,5$).

В методе Sauvola [6] используется окно радиусом R . Порог яркости в точке (x, y) определяется по формуле:

$$T_{Sauvola}(x, y) = m(x, y) \cdot \left[1 + k \cdot \left(\frac{s(x, y)}{R} - 1 \right) \right]. \quad (13)$$

На рис. 3 приведены результаты адаптивной бинаризации исследуемого полутонового изображения сварного соединения с дефектом методами «Adaptive Mean Thresholding», «Adaptive Gaussian Thresholding», Niblack, Sauvola.

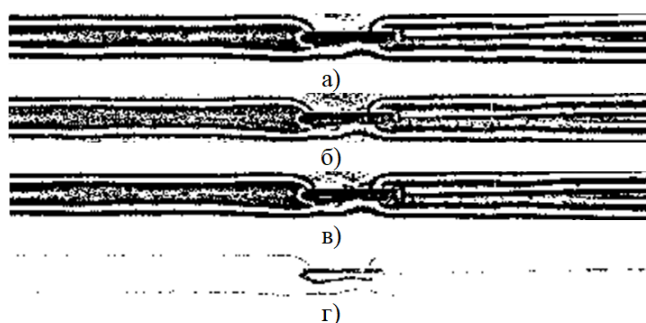


Рисунок 3 – Результаты адаптивной бинаризации полутонового изображения сварного соединения с прожогом методами: а – Adaptive Mean Thresholding; б – Adaptive Gaussian Thresholding; в – Niblack, г) Sauvola

Исследования показали, что с учётом особенностей обрабатываемых изображений и поставленной задачи целесообразно использовать метод пороговой бинаризации neighborhood valley-emphasis. Этот метод может быть использован для автоматического определения оптимального порога яркости.

Применение метода бинаризации neighborhood valley-emphasis позволяет быстро обработать изображения, в отличие от медленных адаптивных методов, и получить результат, достаточный для локализации дефектов на изображениях сварных соединений в процессе производства.

Список литературы

1. Hou W. Review on computer aided weld defect detection from radiography images / Hou W., Zhang D., Wei Y., Guo J., Zhang X. // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10, No. 5. – P. 1878.
2. Муравьев С.В. Автоматизированное распознавание дефектов сварных соединений при визуальном контроле с использованием геометрических признаков / Муравьев С.В., Погадаева Е.Ю. // Дефектоскопия. – 2020. – № 3. – С. 49-57.
3. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1979. – Vol. 9, No. 1. – Pp. 62-66.
4. Ng H. Automatic thresholding for defect detection // Pattern Recognition Letters. – 2006. – Vol. 27, No. 14. – P. 1644-1649.
5. Fan J. A modified valley-emphasis method for automatic thresholding / Fan J., Lei B. // Pattern Recognition Letters. – 2012. – Vol. 33, No. 6. – P. 703-708.

6. Niblack W. An introduction to image processing // Prentice-Hall, Englewood Cliffs. – 1986. – P. 115–116.
7. Sauvola J. Adaptive document image binarization / Sauvola J., Petikainen M. // Pattern recognition. – 2000. – No. 33. – P. 225-236.

Получено 21.08.2020

МРНТИ 06.71.07

А.М. Закимова, Ж.Т. Конурбаева, О.К. Денисова

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

ВОПРОСЫ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА В КАЗАХСТАНЕ

В статье исследованы основные аспекты процесса переработки продукции животноводческого сектора Казахстана. Выявлены ряд проблем, которые сдерживают вопросы глубокой переработки вторичного сырья и их вовлеченность в экономический оборот страны. По результатам проведенных исследований авторами предлагается алгоритм действий, состоящий из двух этапов.

Мақалада Қазақстанның мал шаруашылығы секторында өнімді қайта өңдеу үрдісінің негізгі аспектілері зерттелген. Қайталама шикізатты тереңдетіп қайта өңдеу сұрақтарына тосқауыл болатын мәселелерді анықтау және оны мемлекеттің экономикалық айналымына енгізу қарастырылған. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде екі кезеңнен тұратын іс-әрекеттер алгоритмі ұсынылады.

The research paper studies the main aspects of the processing the livestock sector products in Kazakhstan. Several problems have been identified that hamper the specific issues of deep processing of secondary raw materials and their involvement in the national economic turnover. According to the research outcomes, the authors propose an algorithm of actions consisting of two stages.

Ключевые слова: вторичное сырье, животноводство, технологии переработки, импортозамещение, технологии убоя.

В настоящее время в Казахстане вопросы глубокой переработки вторичного сырья животноводства ограничиваются переработкой шкуры и шерсти. В стране 21 предприятие по переработке шкур и шерсти, загруженность первых – 27 %, вторых – 13 %. Доля переработки казахстанского сырья у заводов по переработке шкур – 28 %, по переработке шерсти – 10 %. Между тем именно эту сферу производства эксперты называют золотой жилой аграрной отрасли, и при верной постановке дела она способна в разы увеличить стоимость конечных товаров.

Например, по данным Комитета статистики крупных шкур во всех хозяйствах в 2017 году было произведено 2860597 штук, а реализовано 66114 штук, в том числе крупным заготовительным предприятиям – 13685 штук, перерабатывающим – 4053 штуки, через торговую сеть 48376 штук. Нереализовано – 2794483 штук.

Мелких шкур произведено 8001268 штук, реализовано крупным заготовительным предприятиям – 35798 штук, через торговую сеть – 44792 штук. Итого реализовано крупных шкур 80590 штук, нереализовано – 7920678 штук.

Для изучения данного вопроса было обследовано 371 фермерское хозяйство, занимающееся животноводством и имеющее убойные площадки, из 15,2 тыс., действующих по Восточно-Казахстанской области на начало 2018 года. Обследования проводились в два этапа: первый этап – сбор вторичной информации, второй этап – полевые исследования. На первом этапе исполнителями изучены статистические данные, отчетные материалы крестьянских хозяйств и данные Управления сельского хозяйства Восточно-Казахстанской области.

Второй этап был реализован с выездом в крестьянские хозяйства и проведением глубинных интервью с руководителями и специалистами сельхозформирований. Выборка состояла из 21 крестьянского хозяйства. Опрос на местах проводился с использованием метода «Глубинного интервью». Данный метод сбора информации был выбран по ряду причин, основными из которых яв-

ляются получение уникальной информации при личной беседе и возможность обсуждения проблемы с экспертом.

По данным полевых исследований авторами выявлен ряд проблем, которые сдерживают вопросы глубокой переработки вторичного сырья и ее вовлеченность в экономический оборот республики:

- по переработке шкуры кожмехзаводы Казахстана не могут конкурировать с теневым экспортом, так как доля налогов больше, чем в нефтяной отрасли: заводы платят налог когда покупают шкуры КРС, и потом повторно платят НДС за то, что их переделал (в советское время в легкой промышленности было нулевое НДС);

- недозагруженность заводов по переработке из-за отсутствия сырья. Сегодня 95 % шкур уходит за границу незаконными, нелегальными путями. В Евразийском Союзе за тонну шкуры КРС полагается платить госпошлину 500 евро. Но они вывозятся законным путем как полуфабрикат или готовая кожа. Львиная доля сырья уходит в Китай. Казахстан остается сырьевым придатком. Шкура одной коровы вывозится за границу за 3000 тенге, а покупается у них сделанный из одной только шкуры товаром, в виде кожаной одежды, обуви на 300 тыс. тенге. Со шкуры одной коровы можно получить товар стоимостью в три раза больше стоимости самой коровы. Получается, в сто раз больше платится за товар, а сырье отдается практически даром. Например, бюджет ВКО только от нелегального бизнеса в итоге недополучает 500 млн. тенге подоходных налогов;

- нелегальный вывоз в результате некорректного декларирования товара: Казахстан экспортирует огромное количество шкур, как кожу. Как может такое быть, если кроме 3 заводов по Казахстану никто не выпускает кожу;

- теневой рынок процветает так, только в ВКО действуют свыше 500 перекупщиков, при этом, килограмм шкуры КРС стоит 300 тенге, а при весе шкуры одной коровы 20 кг – это уже 6 тыс. тенге, шкура овцы – 150-200 тенге за кг, шкура лошадей стоит более 10 тысяч тенге. Это становится чуть ли не самым прибыльным делом в регионе;

- отсутствие ветеринарного контроля: по Казахстану официально проходят контроль только 3 % животных. Шкура является разносчиком 70 % болезней, среди них особо опасные ящур, сибирская язва, бруцеллез. По закону заготовкой шкуры имеют право заниматься организации только при наличии учетного номера. В ВКО всего две организации официально имеют право заниматься этим;

- низкое качество шкур, так как на предприятиях по переработке кожи и шерсти устаревшие технологии, снятие шкуры с туши животных при убое в большинстве случаев производится вручную;

- отсутствие целостной технологической цепочки производства по переработке шкур и шерсти КРС и МРС.

Такое же положение вещей по сбору и обработке шерсти. В последние годы в Казахстане производится около 30 тысяч тонн шерсти в год, а переработаны 2 тысячи тонн, остальное сырье бесконтрольно экспортируется. Около 43 % шерсти не обрабатывается и теряется, значительная часть вырученных средств попадает в теневой оборот. В результате государство ежегодно теряет более 6 млн. долларов США. Анализ состояния легкой промышленности по производству высококачественной пряжи из натуральных волокон показал, что оно покрывает лишь 8 % потребности внутреннего рынка РК. В итоге более 90 % всех продаваемых в стране товаров данной категории приходится на долю импорта, причем далеко не всегда качественного.

Опрос крупных и средних крестьянских хозяйств ВКО показал, что фермеры не заинтересованы в сборе и хранении шкуры и шерсти. Шкура и шерсть просто выбрасываются из-за ее ненужности и отсутствия организованного сбора данного вида сырья для легкой промышленности.

Разработаны мероприятия по решению данных вопросов:

1. Ввести мораторий на вывоз шкур.
2. Шкуры должны браться на контроль, у них должны быть учетные номера.
3. Все шкуры должны поступать на кожмехзаводы республики.
4. Внедрять современные технологии переработки шкур и шерсти.
5. Развивать смежные отрасли промышленности (легкая, обувная, мебельная и т.д.).
6. Создавать и расширять отечественное перерабатывающее производство.

Министерство сельского хозяйства пытается решить данные проблемы через отраслевую программу развития мясного животноводства на 2018-2027 гг., основной концепцией которой является увеличение производительности труда в АПК и экспорта переработанной сельхозпродукции как минимум в 2,5 раза [21]. Основу составляют не крупные производства, а семейные фермы: в скотоводстве на 50-100 маточных голов, в овцеводстве – 600 маточных голов. Реализацией программы предусмотрено создание 80 новых промышленных откормочных площадок и семи современных мясоперерабатывающих комплексов.

В ВКО глава региона Д. Ахметов также пробует решить вопросы полноценной и глубокой переработки первичного и вторичного сырья животноводства. В области развивается кооперация: количество вовлеченных в сельскохозяйственные кооперативы за 2018 год составило 16 тысяч крестьянских и домашних хозяйств. Разрабатывается крупный инвестиционный проект по строительству мясоперерабатывающего комбината с последующей глубокой переработкой сырья при участии иранской компании проектной стоимостью 20 млн. долларов США. Значительным вкладом в переработку мясной продукции и экспорта станет реализация совместного с Австралийским холдингом «CedarMeatsPty» проекта ТОО «Евразия АгроХолдинг» «Строительство мясоперерабатывающего комбината производственной мощностью 11,5 тыс. тонн мяса в год, откормочной площадки на 50 тыс. голов овец единовременного содержания» в Аягозском районе. В целом в ВКО, благодаря комплексу мер по развитию сектора животноводства в экономике, планируется увеличить рост производительности труда в АПК к 2022 году в 1,5 раза.

Таким образом, переход и вовлечение в экономический оборот вторичного мясного сырья необходимо осуществлять поэтапно. Анализ показывает, современное состояние крестьянских и фермерских хозяйств не обладает достаточной инфраструктурой для обеспечения должного уровня сбора вторичного сырья, так как процесс и технология сбора предполагают наличие соответствующего оборудования, технических регламентов, квалифицированного персонала, базы консервации и логистики и т.д. Данные вопросы не могут быть решены в кратчайшие сроки, а требуют глубокой проработки. Авторы предлагают обеспечить переход в несколько этапов с учетом выше приведенных аргументов.

Для повышения эффективности работы предприятий по переработке продуктов убоя животноводства необходимо иметь алгоритм действий по сбору, хранению и транспортировке продуктов глубокой переработки животноводческой продукции. По результатам проведенных исследований авторами предлагается следующий алгоритм действий, состоящий из двух этапов (рис. 1).



Рисунок 1 – Алгоритм действий по сбору, хранению и транспортировке продуктов глубокой переработки животноводческой продукции

Первый этап предполагает обеспеченность сырья для переработки. С учетом того, что в республике с 2010 года активно поддерживается животноводческий комплекс через различные государственные программы, субсидии, в данном секторе наблюдаются положительные изменения. Вопросы нехватки сырья не будут актуальны, так как положительные изменения в отрасли, такие как улучшение породности, увеличение поголовья и формирование крестьянских кооперативов, способствуют бесперебойной подаче сырья. Однако такие вопросы, как ветеринарно-санитарный контроль, сертифицированные пункты уоя и откормочные площадки по-прежнему актуальны и не соответствуют нормативным требованиям.

Работу по второму этапу алгоритма авторы считают не удовлетворительной. Опрос и изучение сбора сырья на примере крестьянских хозяйств показал, что те хозяйства, которые занимаются убоем, и сертифицированные убойные пункты скота (табл. 1) не осуществляют сбор вторичного сырья, за исключением шкур, а такие виды попутного сырья, как технический жир, кишки для технических целей, кровь техническая и пищевая, эндокринно-ферментное и специальное сырье, шерсть утилизируются, закапываются.

Таблица 1

Убойные пункты скота по регионам Казахстана

№	Область РК	Количество, шт.	№	Область РК	Количество, шт.
Промышленные убойные пункты на базе мясокомбинатов			Убойные пункты (стационарные, мобильные)		
1	Акмолинская	10	1	Акмолинская	37
2	ВКО	1	2	Алматинская	52
3	Жамбыльская	3	3	Актюбинская	35
4	Карагандинская	1	4	Атырауская	11
5	Кызылординская	2	5	ВКО	152
6	Костанайская	2	6	Жамбыльская	3
7	СКО	6	7	ЗКО	31
8	ЮКО	1	8	Карагандинская	64
Итого		26	9	Костанайская	21
			10	Мангыстауская	2
			11	Павлодарская	67
			12	СКО	64
			13	ЮКО	29
			Итого		568

Действие алгоритма «обеспечение сбора вторичного сырья» в Казахстане не организовано, можно говорить о его полном отсутствии. На сегодняшний день отсутствует посредники между пунктами уоя и переработчиками. Отсутствие спроса со стороны промышленных переработчиков приводит к тому, что нет спроса на сбор вторичного сырья.

По мнению авторов, обеспечение сбора всей номенклатуры вторичного сырья – процесс, реализуемый последовательно с учетом приоритетов по импортозамещению, доступности технологии, степени решения экологических и санитарно-ветеринарных проблем и экономической эффективности. Поскольку такие виды попутного сырья, как эндокринно-ферментное и специальное сырье, технический жир, кровь требуют более сложной процедуры сбора, хранения и транспортировки, также необходимы наукоемкие и инновационные технологии этапов его переработки.

В работе проведена сравнительная оценка приоритетности технологических процессов по производству продуктов глубокой переработки животноводческой продукции по уровню рентабельности на основании затратного метода по ценам 2017 года. Результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительная оценка приоритетности технологических процессов по производству продуктов глубокой переработки животноводческой продукции по уровню рентабельности на казахстанском рынке

Наименование продукта вторичной переработки	Планируемая эффективность, %	Норма эффективности (рыночная), %
Производство готовых пищевых продуктов (колбасные изделия, деликатесные изделия)	5,8	5,7
Производство готовых пищевых продуктов (зельцы, студни, паштеты, ливерные колбасы)	13,8	5,7
Производство кормов (мясокостная, костная, кровяная мука)	19,4	10,3
Производство кормов (мука перьевая гидролизованная)	12,5	10,3
Производство сыворотки (сухая)	23,4	16,5
Производство лактозы	34,4	17,4
Производство пищевой крови	16,3	12,5
Производство лекарственных препаратов	18,5	20,4

Результаты анализа эффективности в значительной мере зависят от сложившегося на рынке уровня цен, конъюнктуры рынка, конкуренции со стороны основных рыночных сил, барьеров входа на рынок и других факторов.

Проведенные исследования выявили 3 основных направления реализации, подходов к вопросам глубокой переработки продукции животноводства:

1. Создание организационно-экономического механизма по переработке животноводческой продукции в местах ее производства и/или сбора.
2. Диверсификация производства и реализация продукции животноводства.
3. Обеспечение конкурентоспособности готовой продукции животноводства перед импортными аналогами.

Каждое из направлений предполагает решение конкретных задач. Задачи первого направления: укрепление материально-технической базы производства животноводческой продукции; создание стабильной базы кормопроизводства; создание региональной МТБ переработки животноводческой продукции; подготовка и формирование квалифицированной рабочей силы; создание условий для хранения и транспортировки готовой продукции; селекция и повышение продуктивности животных на основе научно-обеспеченных технологий; создание малых предприятий и надомных методов переработки животноводческого сырья.

Второе направление предполагает решение следующих задач: разработка и внедрение новых технологий в переработке животноводческой продукции; расширение ассортимента товаров из животноводческого сырья; расширение областей использования животноводческого сырья; создание научно-исследовательских региональных структур в производстве и переработке животноводческой продукции; повышение качества выпускаемой продукции животноводства; повышение гарантийного срока хранения продуктов питания из животноводческого сырья, в том числе упаковка; углубление степени переработки животноводческого сырья.

Третье направление обозначает для решения следующие задачи: снижение издержек при доставке готовой продукции к месту потребления; снижение издержек при переработке продукции, в том числе комплексное использование сырья; расширение диапазона переработки и загрузка мощностей; снижение транспортных издержек в процессе переработки и доставки до потребителя.

Реализация вышеперечисленных направлений и сформулированных в них задач невозможна без проведения маркетинга потенциальных потребителей готовой животноводческой продукции в регионе и за рубежом. При этом маркетинг целесообразно провести по следующим направлениям: изучение рынка традиционной продукции животноводства; изучение рынка новых направлений продукции животноводства; поиск потенциальных «ниш» и диверсификация экспорта в АПК.

Список литературы

1. Небурчилова Н.Ф., Петрунина И.В., Чернова А.С. Проблемы глубокой переработки продуктов убоя скота // Инновации в интенсификации производства и переработки сельскохозяйственной продукции: Материалы МНРК 17-18 июня 2015. – С. 224-227.
2. Есполов Т.И. АПК Казахстана: глобализация и инновация. – Алматы: КазНАУ, 2012. – 436 с.
3. Нефедова Т. Агропромышленный комплекс Казахстана как составляющая бренда национальной экономики // Сборник по материалам научного семинара: Маркетинг Республики Казахстан: страновой бренд / Под.общ. ред. И.Н. Кренгауз. – Алматы: Экономика, 2014, с. 118-125.
4. Конурбаева Ж.Т., Закимова А.М., Рахимбердинова М.У. Приоритеты Республики Казахстан в диверсификации развития животноводства на мировом рынке // ҚазЭУ хабаршысы – Вестник КазЭУ им. Т. Рыскулова. – Алматы, 2012. – №6 (90). – С. 51-59.
5. Закимова А.М. Развитие агропромышленного комплекса как основа определения конкурентоспособной специализации экономики Казахстана // Алматы, Вестник КазНУ. – Алматы, 2014. – №3.
6. Серпова О.С. Опыт глубокой переработки продукции животноводства: научно-аналитический обзор. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 92 с.

Получено 21.08.2020

MFTAA 50.03.03

А.Т. Кадыролдина, Ә.Т. Құсайын-Мұрат, А.Л. Красавин, Н.В. Прохоренкова
Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ.

**КҮРДЕЛІ ФОРМАДАҒЫ БҰЙЫМДАРҒА ПЛАЗМАЛЫҚ ӨНДЕУДІ ЖҮРГІЗЕТІН
РОБОТ-МАНИПУЛЯТОР ҮШІН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕНІ ӘЗІРЛЕУ**

Бұл мақалада беткі қабатты плазмалық бүрку немесе күрделі формадағы бұйымдарды плазмалық кесуді орындайтын робот-манипулятордың ақпараттық жүйесін әзірлеу сипатталады. Ақпараттық жүйе, оның қозғалыс бағдарламасын автоматты түрде жасау үшін роботтың қолында орнатылған қашықтық датчиктерінен ақпаратты алуға және өңдеуге арналған.

В данной статье описывается разработка информационной системы робота-манипулятора, выполняющего плазменное напыление покрытий или плазменную резку изделий сложной формы. Информационная система предназначена для получения и обработки информации от датчиков расстояния, установленных на руке робота, чтобы автоматически генерировать программу его движения.

This article describes the development of the information system of a robot manipulator, performing plasma spraying of coatings or plasma cutting of products with complex shape. This information system is designed to receive and process information from distance sensors installed on the robot arm in order to automatically generate a program of its movement.

Түйін сөздер: 3D-сканерлеу, 3D-модель, үш өлшемді моделдеу, пішінін өлшеу, байланыс және байланыссыз әдістер, триангуляция.

Қазіргі уақытта өнеркәсіптік робот-манипуляторларды қолданудың маңызды салаларының бірі дайындамалардан берілген нысандағы бұйымдарды плазмалық кесу, сондай-ақ бұйымдардың бетін плазмалық өңдеу (жабындарды бүрку) үшін оларды пайдалану болып табылады [1, 2]. Робот-манипуляторларды пайдалану бұл процестерді автоматтандыруға мүмкіндік береді, бұл ретте ең жоғары өңдеу дәлдігіне жетеді. Көптеген жағдайларда осы мақсаттар үшін берілген бағдарлама бойынша қозғалатын және өз әрекеттерін бақылау үшін қоршаған ортаның жай-күйін талдаудың техникалық жағынан күрделі көру құралдарын пайдаланбайтын бірінші буындағы өнеркәсіптік робот-манипуляторлар пайдаланылады. Мұндай роботтардың ақпараттық жүйелері негізінен манипулятордың жылжымалы буындарының ағымдағы координаттарын бақылауға, сондай-ақ жад блогына немесе жүйенің салыстырмалы құрылғысына тиісті деректерді беруге арналған кері байланыс датчиктерімен шектелген. Робот-манипуляторды басқаруға арналған қазіргі заманғы ақпараттық жүйелер функционалдық біріктірілген өлшеу және есептеу құралдарының жиынтығы

болып табылады. Олардың міндеті әртүрлі датчиктерден ақпарат алу және кейіннен басқару жүйесін пайдалану үшін оны өңдеу болып табылады [3, 4].

Біздің мақсатымыз зияткерлік робот ретінде Kawasaki өндірістік робот-манипуляторын пайдалану үшін ақпараттық жүйені әзірлеу болды. Біз әзірлейтін ақпараттық жүйе Kawasaki роботының «қолында» орнатылған қашықтық датчиктерінің немесе бейнекамерасының көмегімен осы робот өңделетін бұйымның 3D-үлгісін жасап, өзі жасаған бұйымның 3D-моделі бойынша одан әрі қозғалыс бағдарламасын автоматты түрде жасап, сондай-ақ өз қызметінің тәжірибесінің жинақталуына қарай өз бетінше үйренуіне мүмкіндік береді. Осылайша, әзірленіп жатқан ақпараттық жүйені іс жүзінде іске асыру объектіні 3D-сканерлеу роботталған жүйесін құруды қамтиды. Плазмалық кесуді және жабындарды бүрку жүргізетін робот-манипулятор үшін ақпараттық жүйені әзірлеу қажеттілігі титаннан жасалған эндопротездердің имплантаттарына биосыйымдылықты материалдардан жабындарды плазмалық бүркудің роботталған процесін қамтамасыз ету, сондай-ақ титан қорытпасының баяу балқитын табақтарынан жасалған күрделі формадағы дайындамаларды плазмалық кесуді қамтамасыз ету қажеттілігінен туындады.

Осы процестерді орындау кезінде өңделетін бетке дейінгі қашықтықты және плазмалық ағыстың бетіне түсу бұрышын, сондай-ақ плазмалық көздің немесе өңделетін бөлшектің қозғалу жылдамдығын нақты сақтау маңызды. Талап етілетін параметрлерден кез келген ауытқу ақауға әкеледі: бұйымның шеттерін балқытуға, жабу құрылымының берілген параметрлерге сәйкес келмеуі немесе жабынның нашар адгезиясы. Бұл ретте әрбір өңделетін бөлшектің геометриялық пішіні мен өлшемдері тек күрделі ғана емес, сонымен қатар әртүрлі, себебі бұл нақты пациенттің деректері бойынша және отандық имплантология саласындағы жаңа әзірлемелерді ескере отырып жасалатын имплантат.

Kawasaki RS-010LA (Kawasaki Robotics, Жапония) өнеркәсіптік робот – алдын ала берілген профиль бойынша жылжыту үшін алты еркіндік дәрежесі бар жылжымалы бөліктерден тұратын құрылғы, бағдарламаланатын E40F-A001 контроллері арқылы басқарылады. Роботтың қолына материалдарды плазмалық кесуге арналған құрылғы немесе жабын жағуға арналған плазмотрон орнатуға болады. Kawasaki RS-010LA робот-манипуляторының сипаттамасы: жылжымалы дәрежелер саны – 6; позициялау дәлдігі – 0,06 мм; ең жоғары желілік жылдамдық – 13100 мм/сек; қол жеткізу аймағы – 1925 мм; жүк көтергіштігі – 10 кг.

Лазерлік триангуляциялық датчиктер осы жұмыста пайдаланылатын қашықтық, сәулелену жолымен өңделетін бетке дейінгі қашықтықты анықтауға және өлшеуге арналған локациялық датчиктер, атап айтқанда жарық диапазонының электромагниттік толқындары (560-580 нм диапазонындағы сәулелену көзі толқынының ұзындығы) түріне жатады. Сондай-ақ, өңделетін объектінің геометриялық сипаттамалары туралы ақпарат алуды қамтамасыз ететін USB 2.0 интерфейсі бар машиналық көрудің сандық камерасына негізделген визуалды датчиктің түрі қолданылды. Біздің алдыңғы жұмыстарымызда [5, 6] роботталған 3D-сканерлеу объектісі мен деректерді жинау жүйесінің негізгі идеясының сипаттамасы берілген. Қысқаша, біз ұсынатын объектіні сканерлеу жүйесі объектінің бетіне дейінгі қашықтықты дискретті жиын нүктесінде өлшеуге негізделген, берілген геометриялық параметрлері бар желіні құрайтын, зерттелетін объектінің бетіне салынатын.

Сканерленетін нысанның 3D-моделі осы тордың тораптары бойынша интерполяция процедуралары арқылы құрылады. Осылайша, 3D-сканерлеу жүйесін құру әрбір нүктеде сканерлеу үшін қажетті іс-әрекеттерді орындай отырып, сканерлеу нүктелерінде өлшеу нәтижелерін жадта жинақтауды жүргізетін, сканерлеу нүктелері бойынша тізбектей жылжытудан тұратын манипулятордың роботына арналған міндеттерді қалыптастыруды жүзеге асыратын деректерді жинау жүйесін құруды талап етеді. Қашықтықтың прецизионды датчиктері шектеулі әрекет радиусы болғандықтан, біз «калын» және «жұқа» сканерлеу кіші жүйелерінен тұратын кешенді жүйені әзірлеуді ұсындық.

«Нүкте бұлтын» құру процесі келесі операциялармен жүзеге асырылады:

- 1) тоқтату нүктелері көрсетілген сканерлеу траекториясы қойылады;
- 2) сканирленетін объектінің бетіне дейінгі қашықтық тоқтату нүктесінде өлшенеді; сканерлеу деректері ДК-ге жіберіледі. Деректерді беру хаттамасы (деректерді беру логикасы) сканерлеу деректерімен бірге сканерлеу датчигінің ағымдағы координаттарын жіберуді қамтамасыз етеді (бетке дейінгі қашықтық);

3) алынған деректер бізге нүктелердің бұлтын құруға және жер бетіндегі нүктелер жиынтығының 3D-координаттарын есептеуге мүмкіндік береді.

3D модельдерді жасау процесінің өзі осы шешімнің келесі бағдарламалық деңгейін сипаттайды, ол ядро бағдарламалық жасақтамасын қамтиды. Бұл деңгей траекторияны жоспарлау блогынан, бет генераторы блогынан және файлдарды сақтау блогынан тұрады. Бағдарламалық қамтамасыз ету ядросының шығу деректері 3D нүктелері бұлт түрінде ұсынылған. Бұл дегеніміз, ұйымдастырылмаған үш өлшемді деректер жиынтығы жасалады және тегіс көлеңкеленген бет генератор блогына жіберіледі. Осылайша, лазерлік сканерлеу түсірілім нүктелердің бұлтын автоматты түрде анықтаумен сипатталады. Ірі сканерлеу кезінде нүкте бұлттарының жалпы деректерін алу үшін жоғары жылдамдықпен объектінің бетін сканерлеу қажет, бұл үш өлшемді ақпараттың тұтастығына жоғары талаптарды талап етпей, сканерлеу тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Бұл жұмыста симуляторларды пайдалана отырып, деректерді жинаудың әзірленген жүйесін қолдана отырып, 3D-сканерлеу жүйесі үшін құрылымдық және алгоритмдік шешімдерді апробациялау жүргізілді, ол үшін тиісті бағдарламалық қамтамасыз ету (БҚ) әзірленді.

Лазерлік датчиктер негізіндегі 3D сканердің бағдарламалық жасақтамасы қашықтықтар немесе бейнекамералар бірнеше логикалық деңгейлерге (қабаттарға) бөлінеді, сонымен қатар жекелеген деңгейлер жеке қосымшалармен қатар, бір қосымшаның бағдарламалық модульдерімен де ұсынылуы мүмкін. 3D-сканердің төменгі деңгейі – манипулятордың қолында және сканерленетін объектінің бетінде тіркелген датчик арасындағы қашықтықты өлшеу нәтижелерін оқуға және сақтауға мүмкіндік беретін деректерді жинау жүйесі. Бұл ретте деректерді жинау жүйесі әрбір өлшеуді жүргізу сәтінде манипулятордың жұмыс құралының кеңістіктік жағдайы және бағдарлануы туралы ақпаратқа қол жеткізуі тиіс.

Сканерлеу фазасының соңғы нәтижесі – нүктелік бұлт, яғни кеңістікте нүктелердің орналасуын сипаттайтын координаталық үштіктің (x , y , z) құрылымсыз жиынтығы. Сканерлеу жүйесінің БҚ бойынша жоғарғы деңгей нүктелердің бұлты бойынша бетті қалпына келтіреді және пайдаланушыға 3D детальдарды сипаттау форматтарының бірінде нәтижені сақтауға мүмкіндік береді. Айта кету керек, бұл зерттеу үшін ерекше болып робот-манипулятор қозғалысының траекториясын қалыптастыру үшін 3D сканерлеу деректерін пайдалану идеясы болып табылады, бұл үшінші деңгейді, атап айтқанда, сканерлеу деректері бойынша робот-манипулятор бағдарламасы жасалатын деңгейді орынды бөлектейді. Лазерлік сканерлеу жүргізу үшін деректерді жинау жүйесін құру міндеті сыналатын қосалқы берулер арасында техникалық ең күрделі болып робот-манипуляторды өлшеу мен орнын ауыстыру мәселесі болып табылады. Триангуляциялық лазерлік датчиктер жүйеде қолдану үшін таңдалған қашықтық RS-485 физикалық деңгейдегі дәйекті интерфейс-термен жабдықталған. Датчиктермен байланыс протоколдары оларды конфигурациялау мүмкіндігін қарастырады, сонымен қатар реттеу параметрлері деректерді беру режимін таңдауға мүмкіндік береді, ал датчиктердің кейбір түрлері үшін өнеркәсіптік желілерде пайдаланылатын логикалық деңгейдің стандартты хаттамаларының бірін (Modbus-RTU, Can) таңдауға мүмкіндік береді.

Kawasaki өндірістік роботтың контроллері компьютерді басқарушы RS-232 физикалық деңгейдегі интерфейсмен байланысады. Қашықтық датчигінен немесе бейнекамерадан, Робот-манипулятор контроллерінен және дербес компьютерден тұратын желіні ұйымдастыру үшін, құрылыстың физикалық деңгейін құрудың екі нұсқасы қарастырылады: бірінші нұсқада жетекші құрылғы (ДК) екі жетекші құрылғымен байланыс үшін бір COM-порт (RS-232 интерфейсін физикалық деңгейі) пайдаланады. Бұл ретте деңгейлерді түрлендіру үшін ADAM 4245 интерфейс конверторын қолдану жоспарланып отыр. Екінші нұсқада компьютер жағынан коммуникацияға арналған USB порты, ал жетекші құрылғылармен келісу үшін интерфейс-тердің тиісті конверторлары қолданылады. Бірінші кезеңде төменгі деңгей бойынша COM-портпен төмен деңгейлі операцияларды орындайтын, порттың параметрлерін баптау (тарату жылдамдығы, анықтықты бақылаудың болуы/болмауы және т.б.), буферлеуді және т.б. пайдалана отырып, деректер ағынын қабылдауды ұйымдастыру сияқты кітапханалар әзірленді және сыналды. Windows операциялық жүйелерінің әртүрлі модификацияларының API COM-портымен жұмыс істеуге қажетті функциялардан (соның ішінде, синхрондауға арналған функциялардан) тұрғанын атап өту қажет. және COM-портпен жұмыс істеу үшін бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеу кезінде құрылғы

драйверлері деңгейінде (лицензиялау проблемаларымен ұштасқан) әзірлеуді жүргізудің қажеті жоқ. Сонымен қатар, қазіргі уақытта ModBus өнеркәсіптік желісіндегі жетекші құрылғылардың бағдарламалық симуляциясы үшін еркін таратылатын БҚ қол жетімді. Тестілеу үшін біз STM32 (контроллері бар Dv4234 платасы) және MSP430 (STM32 Launchpad) серияларының микроконтроллерлері үшін DevBoards әзірлеуші платаларын қолдандық. Сонымен қатар, лазерлік сканерлеу үшін деректерді жинау жүйесін жобалау бойынша жұмыстар аясында Modbus – RTU стандартты өнеркәсіптік желісі бойынша жетекші құрылғылардан сауалнама жүргізу үшін кітапхана құрылды. Тестілеу үшін жоғарыда аталған еркін таратылатын БҚ қолданылды.

WinAPI-де USB-мен жұмыс істеуге арналған құралдар жоқ болғандықтан, келесі екі бағытта жұмыс жүргізіледі:

1) виртуалды COM-порт ретінде USB портын эмуляциялауға мүмкіндік беретін арнайы БҚ қолдану;

2) интерфейстің интеллектуалды конвертін құру үшін стандартты UART-пен қатар периферия жиынтығында жылдам әрекет ететін COM-порты бар микроконтроллер платасын пайдалану.

Беттерді қалпына келтіру модулінің прототипін әзірлеу үшін NumPy және SciPy сандық әдістерінің еркін таратылатын кітапханаларын қолдана отырып, Python бағдарламалау тілі қолданылады. Тестілеу үшін біз оптикалық 3D сканерін пайдалана отырып алынған табиғи деректер бар. Осылайша, жоғары деңгей бойынша құру жөніндегі жұмыстар төмен деңгейлі БҚ әзірлеумен қатар жүргізілуі мүмкін.

Қорытынды. Бұйымдарды плазмалық кесетін және жабынды жағатын робот-манипулятордың акпараттық жүйесін құру үшін, қашықтықты лазерлік датчиктер немесе бейнекамералар негізінде 3D сканерлеу жүргізу үшін деректерді жинау жүйесі және 3D сканердің бағдарламалық қамтамасыз етуі әзірленді; COM-портпен төмен деңгейлі операцияларды орындайтын кітапханалар әзірленді және сынақтан өткізілді; Modbus – RTU стандартты өнеркәсіптік желісі бойынша жетекші құрылғылардан сауалнама жүргізу үшін кітапхана құрылды. Робот-манипулятордың бағдарламалық кодын 3D-сканерлеу деректерін ескере отырып автоматты түрде генерациялауды енгізу жоспарлануда, ол робот манипуляторында орнатылған қашықтық датчиктерінің немесе бейнекамераның көмегімен өңделуі тиіс. Бұл геометриялық параметрлердің кең ауқымында немесе берілген қалыптан ауытқуымен ерекшеленетін дайындаманың плазмасымен кесуге, ал титан қорытпаларынан жасалған медициналық имплантаттарға жабындарды жоғары дәлдікпен бүркуге мүмкіндік береді.

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (грант № AP05130525).

Әдебиеттер тізімі

1. Vardelle A. Moreau Ch., Nickolas J., Themelis A. Perspective on Plasma Spray Technology// Plasma Process. – 2015. – No 35. – P. 491-509.
2. Lynch K.M. and Park F.C. Modern Robotics: Mechanics, Planning and Control // Cambridge: U. Press. – 2017. – P. 642.
3. Воротников С. А. Информационные устройства робототехнических систем // М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2005. – С. 384.
4. Simoens P., Dragone M., Saffiotti A. The Internet of Robotic Things: A review of concept, added value and applications // International Journal of Advanced Robotic Systems. -2018. – P. 1–11.
5. Алонцева Д.Л., Красавин А.Л., Кадыроldина А.Т., Құсайын-Мұрат Ә.Т. Разработка системы 3D-сканирования для интеллектуальной роботизированной системы плазменной обработки и резки крупногабаритных изделий сложной формы // Совместный выпуск научных журналов «Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева» и «Вычислительные технологии». – 2018. – Т. 1. – Ч. 1. – С. 7-19.
6. Alontseva D., Krasavin A., Kadyroldina A., Kussaiyn-Murat A. Segmentation Algorithm for Surface Reconstruction According to Data Provided by Laser-Based Scan Point // Communications in Computer and Information Science. – 2019. – Vol. 998. – P. 1-10.

Қабылданды 21.07.2020

MFTAA 29.17.19

Н. Қантай¹, Б. Рахадиллов², С. Алпысбаев¹, Е. Жанимхан¹¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ.²С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ.**МЕХАНОХИМИЯЛЫҚ СИНТЕЗДЕУ КӨМЕГІМЕН ШХ15 БОЛАТ ШАРЫНЫҢ БЕТІНЕ
АЛЫНҒАН ЖАБЫННЫҢ ТРИБОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТІН ЗЕРТТЕУ**

ШХ15 болат шарының бетіне механохимиялық синтездеу көмегімен VN, TiN, SiC, Cr₂N жабындары алынды. Алынған жабындардың трибологиялық қасиеті зерттелді, болат шарлардың тозуға төзімділігі массалық өзгерісіне байланысты анықталды.

С помощью механического синтеза на поверхность стальных шаров ШХ15 были получены покрытия VN, TiN, SiC, Cr₂N. Изучены трибологические свойства полученных покрытий, определена износостойкость стальных шаров по потере массы.

Using mechanical synthesis, VN, TiN, SiC, Cr₂N coatings were obtained on the surface of steel ShKh15. The tribological properties of the resulting coatings were studied, the wear resistance of steel balls by weight loss was determined.

Түйін сөздер: механикалық синтездеу, жабын, үйкеліс коэффициенті, мойынтірек шары.

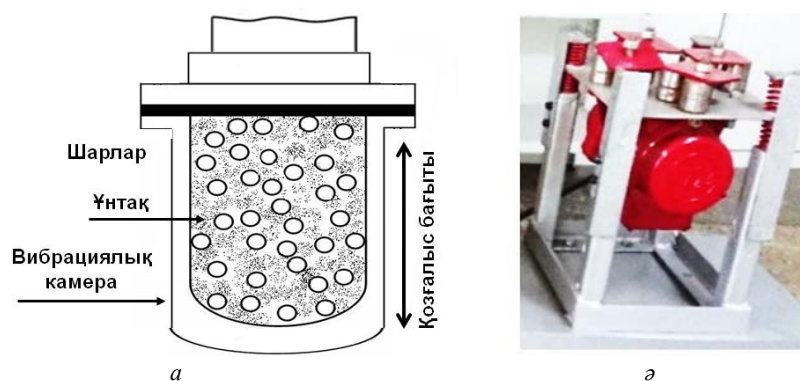
Қазіргі таңда қоғамның өркендеуімен қатар, металдарды өндеудің түрлі технологиялары қарқынды дамуда. Соның ішінде ғалымдар механикалық синтездеу (МС) әдісін – металдың бетін модификациялаудағы жаңа бағыт ретінде қарастыруда. МС арқылы болат шарларды беттік өндеуге ерекше мән беруде. Машина жасау, құрылыс және т.б. салаларда қолданылатын мойынтіректің (подшипник) болат шарлары түрлі жүктемелердің әсерінен тез тозуға ұшырап, өндірісте кері әсерін тигізуде. Осы олқылықтың орнын толтыру мақсатында болат шарлардың бетіне түрлі ұнтақтарды жағу арқылы беттің физикалық-механикалық қасиетін жақсартудың рөлі зор [1-4]. Практикада көп қолданылатын электрохимиялық, иондық имплантациялау, химиялық және физикалық әдіспен жабын жағу, электронды сәулемен өндеу сияқты әдістер әрдайым жақсы нәтиже бермейді. Сондықтан осы бағытта салыстырмалы түрде МС қолдану арқылы материалдың беттік қасиетін арттыру тиімді. Бұл процесс өнеркәсіптің түрлі салаларында қолданылу маңыздылығы бойынша қарқынды зерттеу тақырыбына айналды. Себебі, бұл әдіс жаңа технологиялармен салыстырғанда дәстүрлі емес, экологиялық таза және арзан технологияларды жасауды қамтамасыз етеді [5-9].

Осыған байланысты жұмыстың мақсаты МС көмегімен ШХ15 болат шарының бетіне алынған жабынның трибологиялық қасиетін зерттеу болып табылады.

Тәжірибелік зерттеу С. Аманжолов атындағы ШҚМУ-дың (қазіргі ШҚУ) «Беттік инженерия және трибология» ғылыми-зерттеу орталығында жүзеге асырылды. ИВ-50 вибрациялық стенд көмегімен ШХ15 болат шарының бетіне жабындар алынды. МС әдісі шарлардың өзара әсер ету энергиясы арқылы жабын жабуға арналған. 1-суретте МС әдісінің сызбасы көрсетілген. Бұл әдістің мәні мынада: болат шарлар мен белгілі бір химиялық құрамдағы ұнтақ камераның ішіне орналастырылып, белгілі бір жиілік диапазонында механикалық діріл үдеткіші арқылы тербеліске түсіп, шарлардың соққы энергиясы әсерінен өңделетін материал бетіне жабын түзеді. Механикалық діріл жиілігі қолданылатын коспаның құрамымен және өңделетін материалдың механикалық қасиеттеріне сәйкес анықталады.

Зерттеу нысаны ретінде ШХ15 (мойынтірек шары) болатының бетіне МС әдісі арқылы VN, TiN, SiC, Cr₂N жабындар алынды. Шардың диаметрі 6 мм, таңдалған ұнтақтардың фракциясы 20-40 мкм аралығында болды. Камераларға салынған шарлардың массасы ($m_{ш} = 36$ г) және ұнтақ ($m_{ұ} = 12$ г) тұрақты болды. Камераны шарлармен толтыру дәрежесі шарлардың мөлшеріне байланысты шамамен 80-85 % болды. Шарлар мен ұнтақ өзара максималды күште әсерлесу үшін камераның ішіндегі бос кеңістікті тербелістердің ауқымы (екі амплитуда) мәніне жақын екендігін ескере отырып таңдалды. Айта кету керек, діріл камерасын шарлармен толтыру дәрежесі мен өндеуге арналған ұнтақ мөлшері бойынша өзара әсер ету сипатын өзгертуге болады. Толтырудың төмен деңгейінде шарлардың қозғалысы максималды жылдамдықта жүреді, алайда шарлардың өздері мен өңделетін ұнтақ арасындағы өзара әрекеті минималды болады, бұл энергия қарқын-

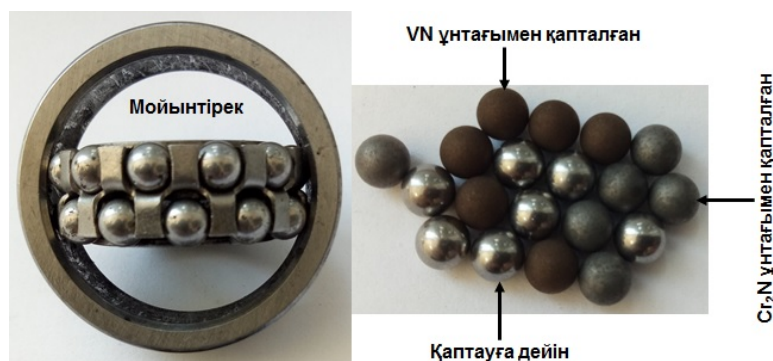
дылығының төмен мәндеріне әкеледі. Камераны шарлармен толтыру дәрежесінің жоғарылауы мен соқтығысу жиілігі едәуір артады, бірақ еркін жүру жолының азаюына байланысты шарлар жоғары жылдамдыққа дейін жетіп үлгермейді. Тербеліс амплитудасы вибромарка көмегімен анықталды. Ең үлкен дәлдік үшін (шамамен 0,1 мм) $H/L=1/20$ қатынасы орнатылды. Діріл жиілігі 60 Гц, тербелу уақыты 120 мин реттелді. Құралдың техникалық сипаттамаларын ескере отырып, амплитуданың белгіленген мәні жабын алуға арналған шарларды соғу үшін берілген механикалық энергияның жеткілікті қарқындылығын қамтамасыз етеді. Осы негізде амплитуданың шамадан тыс артуы әрдайым тиімді бола бермейді, сонымен қатар, ол қолданылатын қондырғының құрылысына әсер етеді. 50 Гц тербеліс жиілігі кезінде асинхронды қозғалтқыштың тербелу жиілігі 2795 ± 5 айн/мин болды.



1-сурет – Жабын алуға арналған ИВ-50 вибрациялық стенді:
а) механикалық синтездеу әдісінің сызбасы; ә) вибрациялық стенд суреті

TRB³ трибометрінде шарлардың трибологиялық қасиеті анықталды. Айналу кезіндегі радиусы 5 мм, жылдамдығы 5 см/с, қойылған жүктеме 15 Н, жүрген жолақ жолы 75 м құрады.

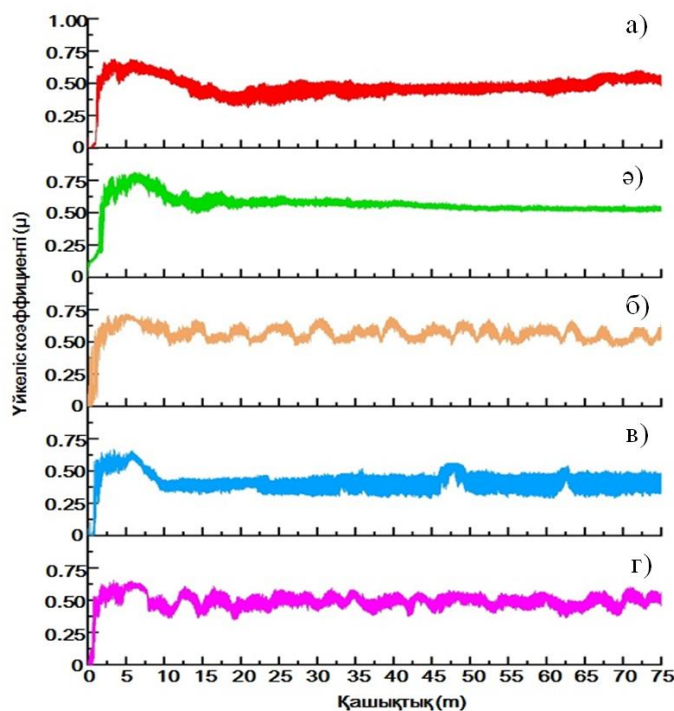
2-суретте диаметрі 6 мм мойынтірек шарларына VN, TiN, SiC, Cr₂N жабындары алынған суреті бейнеленген. Көп жағдайда тұрақты толтыру коэффициенті кезінде шарлар өлшемін арттыру, энергия мен температураның қарқындылығының өсуіне әкеледі. Алайда, шарлардың мөлшері ұлғайған кезде, камераны толтыру коэффициенті үлкен болған жағдайда шарлардың еркін жүру ұзындығы азаяды және тиісінше шарлардың соқтығысу жиілігі қысқарады. Бұл факті жабындардың кедір-бұдырлығын арттыруға әкеледі.



2-сурет – Мойынтірек шарлардың бастапқы және жабын жағудан кейінгі суреті

3-суретте ШХ15 болат шарларына VN, TiN, SiC, Cr₂N жағылған жабындардың үйкеліс коэффициенті шардың бастапқы қапталмаған күйі үшін $\mu_{op.}=0,488$, VN ұнтағымен қаптаудан кейін $\mu_{op.}=0,416$, TiN қаптаудан кейін $\mu_{op.}=0,562$, SiC қаптаудан кейін $\mu_{op.}=0,563$ және SiC қаптаудан

кейін $\mu_{ор.}=0,476$ көрсетті (2-кесте). Осы нәтижелерге қарап МС арқылы шарлардың бетінде жұқа берік әрі тығыз жабын түзілгенін көруге болады. Трибологиялық зерттеуге қарай отырып, үйкеліс коэффициенті ең жоғары TiN, SiC және Cr₂N жабындарының шарлармен болған үйкелісте байқалды. Үйкеліс кезіндегі шарлардың желінуіне, яғни, массасының азаюына қарап TiN және Cr₂N жабындарымен жабылған шарлардың беріктік қасиеті жоғары екенін көреміз. SiC жабынды шарда үйкеліс коэффициентінің мәні жоғары болумен бірге, жабынды шар өзінің массасын айтарлықтай жоғалтқан (4-сурет), осыдан когезиялық және адгезиялық беріктігінің төмендігін көруге болады.



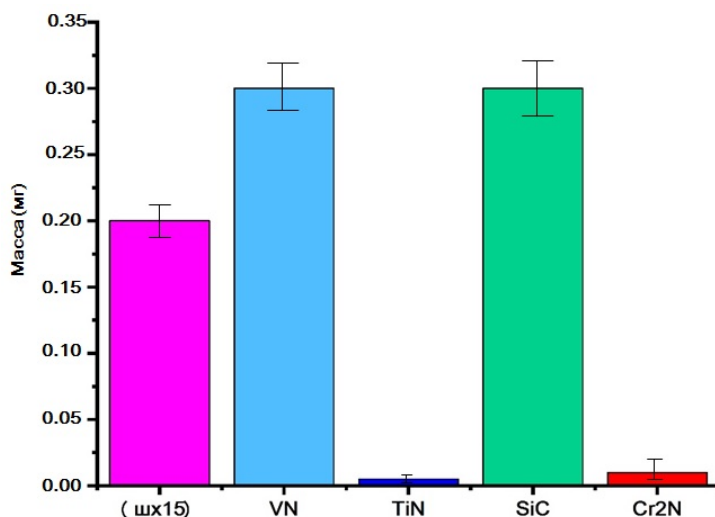
3-сурет – Шар-диск әдісімен зерттелген 40X маркалы болат пен жабын жағылған шарлар арасындағы үйкеліс коэффициенті: а – ШХ15; ә – VN жабыны; б – TiN жабыны; в – SiC жабыны; г – Cr₂N жабыны

2-кесте

40X болаттың және жабындардың трибологиялық зерттеу нәтижесі

Үлгілер	ШХ15	VN жабыны	TiN жабыны	SiC жабыны	Cr ₂ N жабыны
Үйкеліс коэффициентінің орташа мәні, $\mu_{ор.}$	0,488	0,416	0,562	0,563	0,476
Стандартты ауытқу	0,064	0,071	0,070	0,083	0,081

4-суретте шарды түрлі ұнтақты жабындармен қаптап, трибологиялық зерттеуден кейінгі массалық өзгеріс графигі бейнеленген. Бастапқы шар VN, TiN, SiC, Cr₂N жағылған жабындарды трибометрде бірдей сынақ жағдайларында қатты 40X болатының бетіне шар-диск әдісі арқылы трибологиялық зерттеу нәтижесінде массалық өзгерісі бағаланды, ШХ15 болаты 75 м қажалу жолын жүру кезінде 0,20 мг жоғалтқанын, VN мен SiC жабынымен қапталған шариктер 0,30 мг жоғалтқанын, Cr₂N жабынымен қапталған шарик 0,10 мг жоғалтқанын және TiN жабынымен қапталған шардың массасының өте аз мөлшерде өзгергенін, яғни қапталған жабынның беріктігін көреміз.



4-сурет – Мойынтірек шарлардың бастапқы және жабын жағудан кейінгі трибологиялық зерттеуге байланысты массалық өзгеріс графигі

МС процестері физикалық процестер мен химиялық реакциялардың бір уақыттағы әрекеті тұрғысынан қарастырылады. Синтез – бұл деформациялар, араластыру және жаңа фазаның одан әрі қалыптасуының нәтижесі, бірақ сонымен бірге механикалық және химиялық күштер де әртүрлі сатыларға әсер етеді. Ұнтақтарды механикалық өңдеу кезінде қатты фазалық реакциялардың пайда болуы әдетте басқа процестермен бірге жүретінін ескеру қажет: жылу бөліну, жаңа беттің пайда болуы, кристалдардағы ақаулардың пайда болуы, химиялық түрленулер. Бұл жағдайда процестің жүруі МС процесінің параметрлеріне (берілген қуат, өңдеу уақыты), қатты заттың физикалық қасиеттеріне және т.б. байланысты. Жүргізілген зерттеулер негізінде МС әдісін пайдаланып, болат шардың бетіне VN, TiN, SiC, Cr₂N жабынын алуға болатыны дәлелденді. Болат шармен жабын арасындағы физикалық-химиялық байланысы, құрылымның қалыптасу заңдылығы, фазалық алмасуы қосымша зерттеуді талап етеді.

Жұмыста алынған зерттеу нәтижелерін талдай отырып, келесі қорытынды жасауға болады: жабындардың сипаттамаларының өзгерісі бастапқы төсеніштің (подложка) қаттылығы мен физикалық-механикалық қасиеттеріне және беттің кедір-бұдырлығына тікелей байланысты екені анықталды. Жақсы жабынды қалыптастыру үшін діріл қондырғысы камерасының көлеміне байланысты болат шардың өлшемін және қапталатын ұнтақтың фракциясы, сондай-ақ діріл камерасының жиілігі мен тербеу уақытының айтарлықтай әсер ететіні байқалды. Трибологиялық зерттеу нәтижесі болат шарлардың бетінде берік жабынның қалыптасқанын, массалық өзгеріс нәтижесі де TiN және Cr₂N жабынының массалық өзгеріске өте аз ұшырағандығы, үйкеліс кезіндегі шарлардың желінуіне яғни массасының азаюына қарап TiN және Cr₂N жабындарымен жабылған шарлардың беріктік қасиеті жоғары екенін көреміз. SiC жабынды шарда үйкеліс коэффициентінің мәні жоғары болумен бірге, жабынды шар өзінің массасын айтарлықтай жоғалтатыны анықталды. Осыдан когезиялық және адгезиялық беріктігінің төмендігін көреміз. МС әдісімен трибологиялық қасиеті жақсартылған жабынды алуға болатынына көз жеткізілді.

Мақалада Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігінің мақсатты қаржыландыру бағдарламасының шеңберінде орындалған ғылыми-зерттеу жұмысы нәтижесі ұсынылды (грант BR05236748).

Әдебиеттер тізімі

1. Torosyan, A.R. A New Mechanochemical Method for Metal Coating / R.T. Jonathan, A.M. Korsunsky, S.A. Barseghyan // Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials. – 2002. – V. 13. – P. 251-256.

2. Boytsov O., Ustinov A.I., Gaffet E., Bernard F. Correlation between milling parameters and microstructure characteristics of nanocrystalline copper powder prepared via a high energy planetary ball mill. *Journal of Alloys and Compounds* Volume 432, Issues 1–2, 25 April 2007. – P. 103-110. doi.org/10.1016/j.jallcom.2006.05.101
3. Zadorozhnyy V., Formation of intermetallic Ni–Al coatings by mechanical alloying on the different hardness substrates / V. Zadorozhnyy, S. Kaloshkin, V. Tcherdyntsev, M. Gorshenkov, A. Komissarov, M. Zadorozhnyy // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2014. – 586. – P. 373-376.
4. Бутягин П.Ю., Стрелецкий А.Н. Кинетика и энергетический баланс в механохимических превращениях // *Физика твердого тела*. – 2005. – Т. 47. – Вып. 5. – С. 830-836;
5. Joardar J., K.Pabi S., S.Murty B. Milling criteria for the synthesis of nanocrystalline NiAl by mechanical alloying *Journal of Alloys and Compounds* Volume 429, Issues 1–2, 21 February 2007, Pages 204-210. doi.org/10.1016/j.jallcom.2006.04.045
6. Dashtbayazi M.R., Shokuhfar A., Simchi A. Artificial neural network modeling of mechanical alloying process for synthesizing of metal matrix nanocomposite powders *Materials Science and Engineering: A* Volume 466, Issues 1–2, 25. September 2007. – Pages 274-283. doi.org/10.1016/j.msea.2007.02.075
7. Ipus J.J., Blázquez J.S., Franco V., Millán M., Conde A., Oleszak D., Kulik T. An equivalent time approach for scaling the mechanical alloying processes *Intermetallics* Volume 16, Issue 3, March 2008, Pages 470-478. doi.org/10.1016/j.intermet.2007.12.011.
8. XianjinJiang, Mikhaylo A.Trunov, Mirko Schoenitz, Rajesh N. Dave, Edward L.Dreizin Mechanical alloying and reactive milling in a high energy planetary mill *Journal of Alloys and Compounds* Volume 478, Issues 1–2, 10 June 2009, Pages 246-251. doi.org/10.1016/j.jallcom.2008.12.021.
9. Tjong S.C., and Chen H., Nanocrystalline materials and coatings, *Materials Science and Engineering R* 45 (2004) 1–88. doi:10.1016/j.mser.2004.07.001.

Қабылданды 21.07.2020

МРНТИ 53.03.03

B.S. Kelamanov, Ye.U. Zhumagaliyev, A.M.Akuov, E.K. Samuratov, A.M. Abdirashit
K. Zhubanov Aktobe regional state university, Aktobe, Kazakhstan

MODELING AND ANALYSIS OF THERMODYNAMIC PROCESSES IN Fe-Si-C AND Fe-Si-Al SYSTEMS

The article deals with the study of thermodynamic calculations using the «Terra» software package. The characteristics of various existing phases, contents, and their dynamics of change at various temperatures were investigated.

Мақалада «Terra» кешенді бағдарламасын қолдану арқылы термодинамикалық есептерді зерттеу сұрақтары қарастырылған. Әртүрлі температуралардағы фазалардың мінездемесі, құрамы және өзгеріс динамикасы зерттелді.

В статье рассмотрены вопросы исследования термодинамических расчетов с использованием программного комплекса «Terra». Были исследованы характеристики разных существующих фаз, содержания, и их динамика изменения при различных температурах.

Keywords: *thermodynamic calculations, thermodynamic modeling, diagram, recovery, condensed phases.*

In basic research and applied developments of metallurgy, studying states of various raw materials that underwent pyrometallurgical processing takes special place. It should be noted that classic thermodynamic research of processes in complex multicomponent systems is rather cumbersome, requires application of complex mathematical calculations and associated with necessity of determining thermodynamic parameters of many independent reactions. Often, data about all the properties of substances that is necessary for determining reaction's change in free energy of Gibbs is limited or absent, which in likewise situations excludes possibility of thermodynamic analysis of multicomponent systems. The latter, in addition, does not take into account the particular qualities of intermediate stages of the process, since it only handles the input and output parameters of the process later [1].

In the article, using the «Terra» software package, a thermodynamic analysis of the individual subsystems that make up the four-component Fe-Si-Al-C system was carried out. The «Terra» software package provides the «Triangle» interface, with which it is possible to build the entire phase complex for condensed phases in one cycle. The «Triangle» program calculates the equilibrium concentrations for 100 points (compositions) of the concentration triangle, applies and automatically paints phase regions in different colors according to their phase content [2].

The «Triangle» program makes it possible to simplify the process of conducting serial calculations and building triple phase diagrams. The three starting materials can be either individual chemical elements or arbitrary compounds. It is assumed that the calculations of the equilibrium phase composition can be performed in two modes: - for isothermal conditions, when the equilibrium of the system is set by the values of temperature (T , K) and pressure (p , MPa); - for the conditions of adiabatic equilibrium transformation (combustion), specified at each point of calculation by the values of pressure (p , MPa) and enthalpy (enthalpy of formation of the starting materials) (I , kJ/kg). Using the «Triangle» program, we built diagrams of the Fe-Si-C and Fe-Si-Al triple phase systems at temperatures of 1500, 1600, 1700, and 1800K. The results are shown in figures 1-2.

According to the results of calculations on the «Terra» software package in the Fe-Si-C system (up to a temperature of 1500K), 10 areas with different concentrations were determined (table 1). The most predominant in volume are phase regions: $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$, $\text{SiC}_{(c)}$ – (53%), $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Si}_{(c)}$, $\text{SiC}_{(c)}$ – (17 %), $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$ – (12 %), $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$ – (10 %) and $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$ – (5 %) (figure 1, a).

Thermodynamic calculations showed in the Fe-Si-C system (up to a temperature of 1600K) a number of regions (10) with different concentrations by content (table 1). The most predominant in volume are such phase regions as: $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$, $\text{SiC}_{(c)}$ – (53%), $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Si}_{(c)}$, $\text{SiC}_{(c)}$ – (17%), $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$ – (12%), $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$ – (10%) and $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$ – (5%) (figure 1, b).

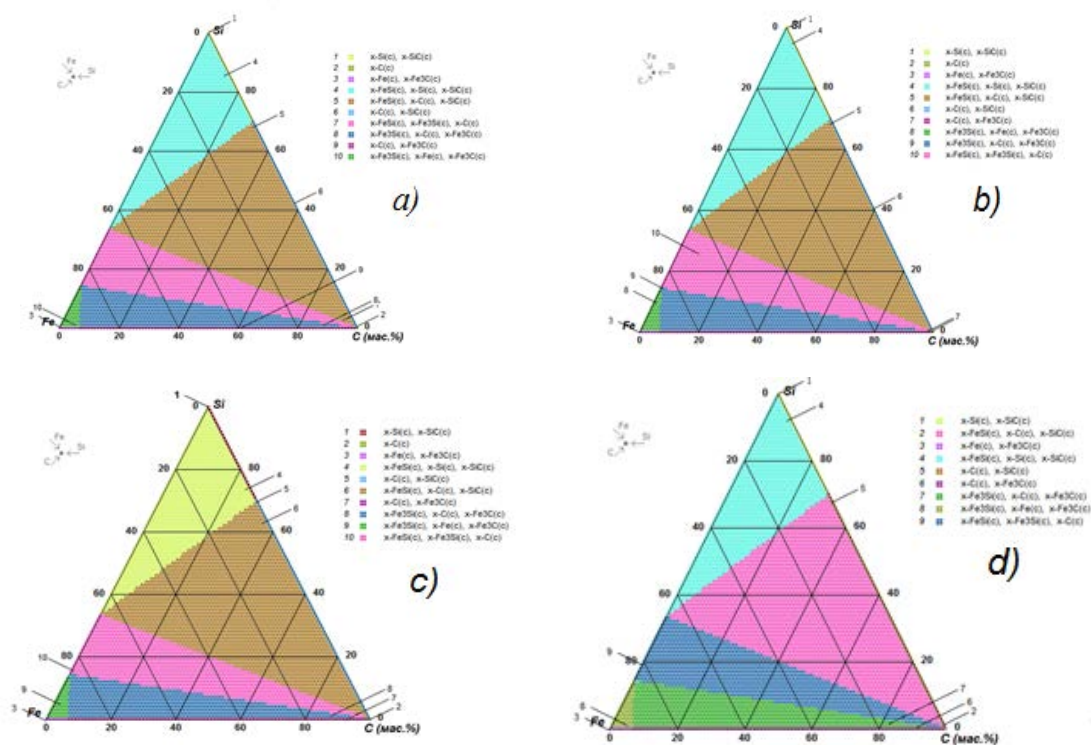


Figure 1 – Phase composition diagram of the Fe-Si-C ternary system at temperatures: 1500K (a), 1600K (b), 1700K (c), 1800K (d)

The calculation results in the Fe-Si-C system (up to a temperature of 1700K) revealed 10 regions with different contents (table 1). The most predominant in volume are phase regions such as: $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$, $\text{SiC}_{(c)}$ – (53 %), $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Si}_{(c)}$, $\text{SiC}_{(c)}$ – (17 %), $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$ – (12 %), $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$ – (10 %) and $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$ – (5 %) (figure 1, c).

Similar thermodynamic results were shown by the Fe-Si-C system (up to a temperature of 1800K) with 9 regions (table 1). The most predominant in volume are phase regions: $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$, $\text{SiC}_{(c)}$ – (53 %), $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Si}_{(c)}$, $\text{SiC}_{(c)}$ – (17 %), $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$ – (12 %), $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$ – (10 %) and $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$ – (5 %) (figure 1, d).

Table 1

The number of phase regions in the Fe-Si-C system at different temperatures

Phases	1500K	1600K	1700K	1800K
	Content, %			
$\text{Si}_{(c)}$, $\text{SiC}_{(c)}$	up to 3	up to 3	up to 3	up to 3
$\text{C}_{(c)}$	up to 3	up to 3	up to 3	-
$\text{Fe}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$	up to 3	up to 3	up to 3	up to 3
$\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Si}_{(c)}$, $\text{SiC}_{(c)}$	17	17	17	17
$\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$, $\text{SiC}_{(c)}$	53	53	53	53
$\text{C}_{(c)}$, $\text{SiC}_{(c)}$	up to 3	до 3	до 3	до 3
$\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$	12	12	12	12
$\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$	10	10	10	10
$\text{C}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$	up to 3	up to 3	up to 3	up to 3
$\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$	5	5	5	5

The next investigated ternary system (Fe-Si-Al) to a temperature of 1500K is determined by 15 regions with different concentrations of concentration (table 2). The most predominant in volume is phase regions: $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Si}_{(c)}$, $\text{Al}_{(c)}$ – (65 %), $\text{Fe}_2\text{Al}_5(c)$, $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Al}_{(c)}$ – (11 %), $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_2\text{Al}_5(c)$, $\text{FeSi}_{(c)}$ – (8 %), $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$ – (7 %) and $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$ – (6 %) (figure 2, a).

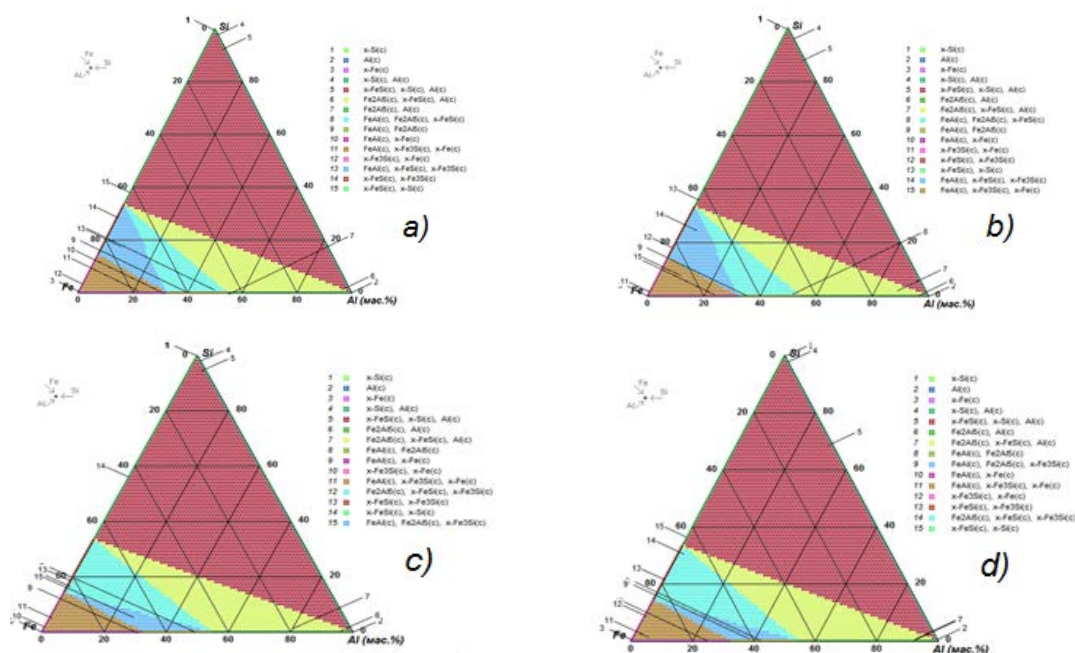


Figure 2 – Phase composition diagram of the Fe-Si-Al ternary system at temperatures: 1500K (a), 1600K (b), 1700K (c), 1800K (d)

With increasing temperature, the results of phase formation in the Fe-Si-Al system (up to a temperature of 1600K) do not change (15 regions). The most predominant in volume are phase regions: $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Si}_{(c)}$, $\text{Al}_{(c)}$ – (65 %), $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Al}_{(c)}$ – (11 %), $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$ – (8 %), $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$ – (7 %) and $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$ – 6 % (figure 2, b).

For a comparative analysis of the results, the Fe-Si-Al system was studied on the «Terra» software package up to a temperature of 1700 and 1800K. The calculation results in the Fe-Si-Al system (up to a temperature of 1700K) show 15 areas with different concentrations (table 2).

The most predominant in volume are phase regions: $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Si}_{(c)}$, $\text{Al}_{(c)}$ – (65 %), $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Al}_{(c)}$ – (11 %), $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$ – (10 %), $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$ – (6 %) and $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$ – (5 %) (figure 2, c).

Table 2

The number of phase regions in the Fe-Si-Al system at different temperatures

Phases	1500K	1600K	1700K	1800K
	Content, %			
$\text{Si}_{(c)}$	up to 3	up to 3	up to 3	up to 3
$\text{Al}_{(c)}$	up to 3	up to 3	up to 3	up to 3
$\text{Fe}_{(c)}$	up to 3	up to 3	up to 3	up to 3
$\text{Si}_{(c)}$, $\text{Al}_{(c)}$	up to 3	up to 3	up to 3	up to 3
$\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Si}_{(c)}$, $\text{Al}_{(c)}$	65	65	65	65
$\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Al}_{(c)}$	11	11	11	11
$\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{Al}_{(c)}$	up to 3	up to 3	up to 3	up to 3
$\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$	8	8	-	-
$\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$	up to 3	up to 3	up to 3	up to 3
$\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$	up to 3	up to 3	up to 3	up to 3
$\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$	6	6	6	6
$\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$	up to 3	up to 3	up to 3	up to 3
$\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$	7	-	-	-
$\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$	up to 3	up to 3	up to 3	up to 33
$\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Si}_{(c)}$	up to 3	-	-	-
$\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Si}_{(c)}$, $\text{FeAl}_{(c)}$	-	7	up to 3	up to 3
$\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$	-	up to 3	-	-
$\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$	-	-	5	5
$\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$	-	-	10	10

Using thermodynamic modeling in the Fe-Si-Al system (up to a temperature of 1800K), 15 regions with different contents were determined (table 2). The most predominant in volume are phase regions: $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Si}_{(c)}$, $\text{Al}_{(c)}$ – (65%), $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Al}_{(c)}$ – (11%), $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$ – (10%), $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$ – (6%) and $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$ – (5%) (figure 2 d).

An analysis of the results shows that according to the composition and number of phases formed, the field of the diagram in the temperature range 1500-1800K is divided into several areas. In the Fe-Si-C system, in the temperature range 1500-1800K, the phases formed do not change with increasing temperature. The main existing phases: $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$, $\text{SiC}_{(c)}$; $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Si}_{(c)}$, $\text{SiC}_{(c)}$; $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$; $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$. The processed results of thermodynamic analysis in the Fe-Si-Al system are detailed with indication of changing phases. With increasing temperature, the $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$ phase decomposes into two phases: $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$ and $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$. From the above data (table 2), the contents of the main existing phases $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Si}_{(c)}$, $\text{Al}_{(c)}$, $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Al}_{(c)}$ and $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$ remains unchanged.

The use of thermodynamic modeling in predicting metallurgical processes occurring in high-temperature areas in Fe-Si-C and Si-C-Al systems made it possible to establish the mechanism of the main chemical reactions and determine the real stoichiometric ratio of reactions and show the correct reaction recording based on the observance of phase equilibrium conditions in system. The obtained results

provide the basis for compiling a specific material balance of the melting of silicon-aluminum alloys and the possibility of adjusting the composition of the alloy.

List of used literature

1. Акуов А.М. Разработка технологии выплавки рафинированного феррохрома с применением комплексного сплава АХС (алюминий-хро-кремний) // дисс. Канд. тех. наук. – Караганда: ХМИ, 2010.
2. Сиргетаева Г.Е. Разработка и исследование технологии обжигмагнитной переработки железомарганцевой руды Западный Камыс: 23.12.16. дис. док. фил. PhD. – Караганда, 2016. – 118 с.

Получено 21.07.2020

МРНТИ 53.03.03

B.S. Kelamanov¹, A.M. Abdirashit¹, Zh.N. Yussupova¹, E.K. Kuatbay², D.M. Izimov¹

¹K. Zhubanov Aktobe regional state university, Aktobe, Kazakhstan

²Karaganda State Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

MODELING AND ANALYSIS OF THERMODYNAMIC PROCESSES IN Fe-Al-C AND Si-C-Al SYSTEMS

The article deals with the study of thermodynamic calculations using the «Terra» software package. Using the «Triangle» interface, Fe-Al-C and Si-C-Al triangles are constructed that make up the four-component Fe-Si-Al-C system.

В статье рассмотрены вопросы исследования термодинамических расчетов с использованием программного комплекса «Терра». С помощью интерфейса «Triangle» построены треугольники Fe-Al-C и Si-C-Al составляющих четырехкомпонентную систему Fe-Si-Al-C.

Мақалада «Терра» кешенді бағдарламасын қолдану арқылы термодинамикалық есептерді зерттеу сұрақтары қарастырылған. «Triangle» интерфейсі көмегімен Fe-Si-Al-C төрткомпонентті жүйесінің құраушысы болып табылатын Fe-Al-C және Si-C-Al үшбұрыштылары тұрғызылды.

Keywords: *thermodynamic calculations, thermodynamic modeling, diagram, recovery, condensed phases.*

The experimental study of the processes of carbon thermal reduction of oxides of silicon, aluminum and other metals is difficult due to the high process temperature, aggressiveness of the environment and the complexity of the chemical analysis of the obtained products. Nevertheless, based on a study of the processes occurring in the private Fe-Al-C and Si-C-Al systems, the quaternary Fe-Si-Al-C system can be predicted, which is important in metallurgy as applied to the electrothermal smelting of silicon aluminum alloys in arc thermal ore furnaces. To analyze the carbon thermal interaction, the method of complete thermodynamic modeling (PTM) of metallurgical processes was used, and implemented in an integrated computer system – «Terra» PC with the addition of thermodynamic-diagrammatic method for constructing Gibbs concentration triangles [1].

In the article, using the «Terra» software package, a thermodynamic analysis of the individual subsystems making up the four-component Fe-Si-Al-C system was carried out. The «Terra» software package provides the «Triangle» interface, with which you can build the entire phase complex for condensed phases in one cycle. The «Triangle» program calculates the equilibrium concentrations for 100 points (compositions) of the concentration triangle, applies and automatically paints phase regions in different colors according to their phase content [2].

The «Triangle» program also allows one to study the processes of high-temperature self-propagating synthesis, i.e. to study systems that can spontaneously under adiabatic conditions go into equilibrium with increasing temperature. For this, the program provides an algorithm for constructing a triple system under conditions of adiabatic transformations. When constructing a triple diagram, the phase composition corre-

sponding to the complete thermodynamic equilibrium is displayed at each point. To solve such a problem, the «Triangle» program provides a special way of setting the initial data, when the enthalpy of the initial state (formation enthalpy) is additionally set for each of the three initial substances. Using the «Triangle» program, we built diagrams of the Fe-Al-C and Si-C-Al triple phase systems at temperatures of 1500, 1600, 1700, and 1800K. The results are shown in figures 1-2.

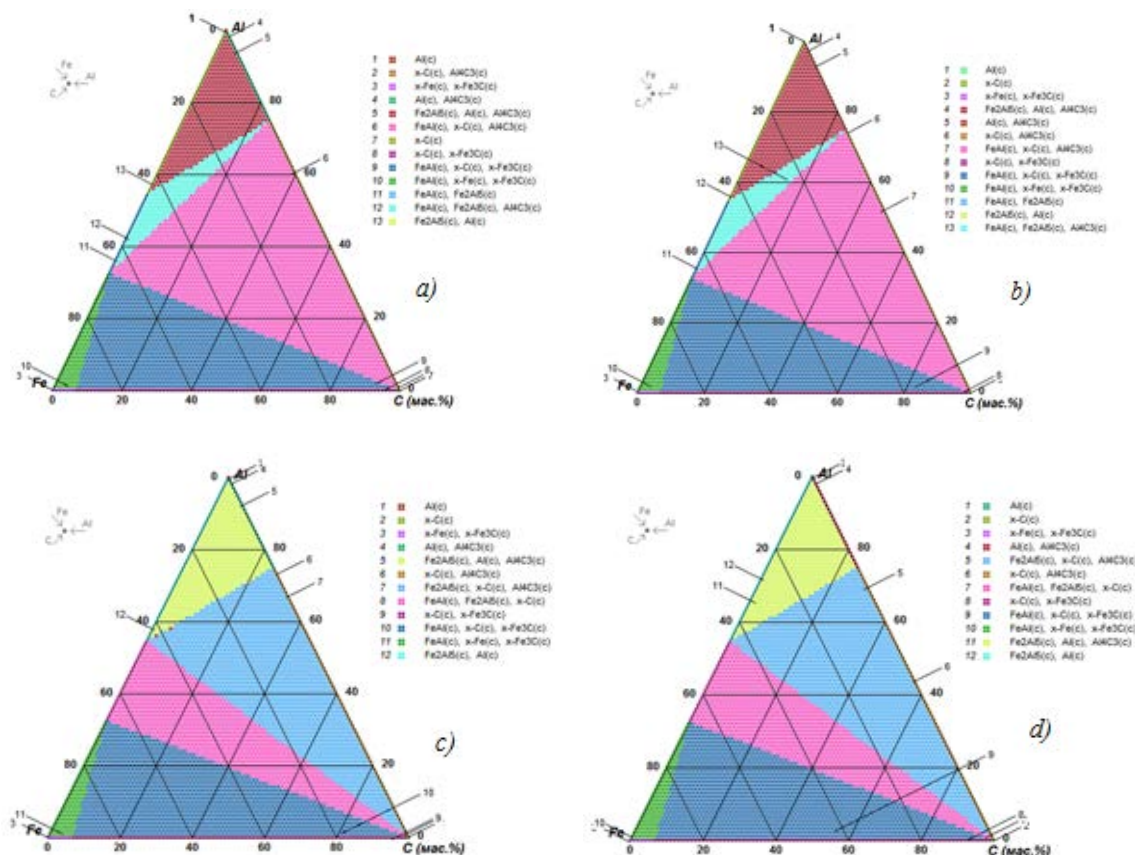


Figure 1 – Diagram of the phase composition of the ternary Fe-Al-C system at temperatures: 1500K (a), 1600K (b), 1700K (c), 1800K (d)

According to the results of calculations on the «Terra» software package in the Fe-Al-C system (up to a temperature of 1500K) 13 regions with different concentrations were determined (table 1). The most predominant in volume are phase regions: $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$, $\text{Al}_4\text{C}_{3(c)}$ – (55 %), $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$ – (24 %), $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{Al}_{(c)}$, $\text{Al}_4\text{C}_{3(c)}$ – (11%), $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{Al}_4\text{C}_{3(c)}$ – (5 %) and $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$ – (3 %) (figure 1 a).

The results of calculations in the Fe-Al-C system (up to a temperature of 1600K) show 13 regions formed with different contents (table 1). The most predominant by volume of them are phase regions: $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$, $\text{Al}_4\text{C}_{3(c)}$ – (55 %), $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$ – (24 %), $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{Al}_{(c)}$, $\text{Al}_4\text{C}_{3(c)}$ – (11 %), $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{Al}_4\text{C}_{3(c)}$ – (5 %) and $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$ – (3 %) (figure 1, b).

For a comparative analysis of the results, the Fe-Al-C system was also studied on the «Terra» software package up to a temperature of 1700 and 1800K. Calculations at high temperatures in the Fe-Al-C system (up to a temperature of 1700K) revealed 12 regions with different concentrations (table 1). The most predominant in volume are such phase regions as: $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{C}_{(c)}$, $\text{Al}_4\text{C}_{3(c)}$ – (40 %), $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{C}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$ – (24 %), $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{C}_{(c)}$ – (20 %), $\text{Fe}_2\text{Al}_{5(c)}$, $\text{Al}_{(c)}$, $\text{Al}_4\text{C}_{3(c)}$ – (11 %) and $\text{FeAl}_{(c)}$, $\text{Fe}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{C}_{(c)}$ – (3 %) (figure 1, c).

Table 1

The number of phase regions in the Fe-Al-C system at various temperatures

Phases	1500K	1600K	1700K	1800K
	Content, %			
Al _(c)	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
C _(c) , Al ₄ C _{3(c)}	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
Fe _(c) , Fe ₃ C _(c)	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
Al _(c) , Al ₄ C _{3(c)}	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
Fe ₂ Al _{5(c)} , Al _(c) , Al ₄ C _{3(c)}	11	11	11	11
FeAl _(c) , C _(c) , Al ₄ C _{3(c)}	55	55	-	-
C _(c)	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
C _(c) , Fe ₃ C _(c)	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
FeAl _(c) , C _(c) , Fe ₃ C _(c)	24	24	24	24
FeAl _(c) , Fe _(c) , Fe ₃ C _(c)	3	3	3	3
FeAl _(c) , Fe ₂ Al _{5(c)}	up to 2	up to 2	-	-
FeAl _(c) , Fe ₂ Al _{5(c)} , Al ₄ C _{3(c)}	5	5	-	-
Fe ₂ Al _{5(c)} , Al _(c)	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
Fe ₂ Al _{5(c)} , C _(c) , Al ₄ C _{3(c)}	-	-	40	40
FeAl _(c) , Fe ₂ Al _{5(c)} , C _(c)	-	-	20	20

With increasing temperature, thermodynamic calculations in the Fe-Al-C system (up to a temperature of 1800K) showed 12 regions with different concentrations (table 1). The most predominant in volume are phase regions: Fe₂Al_{5(c)}, C_(c), Al₄C_{3(c)} – (40 %), FeAl_(c), C_(c), Fe₃C_(c) – (24 %), FeAl_(c), Fe₂Al_{5(c)}, C_(c) – (20 %), Fe₂Al_{5(c)}, Al_(c), Al₄C_{3(c)} – (11 %) and FeAl_(c), Fe_(c), Fe₃C_(c) – (3 %) (figure 1, d).

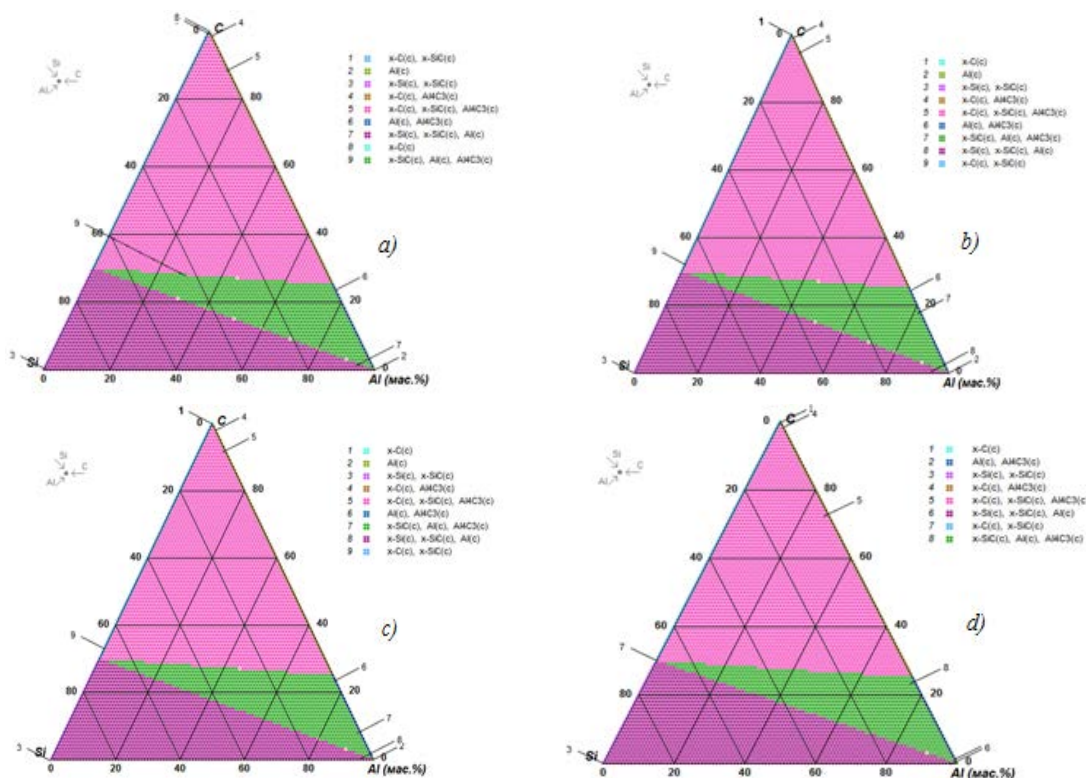


Figure 2 - Phase composition diagram of the Si-C-Al ternary system at temperatures: 1500K (a), 1600K (b), 1700K (c), 1800K (d)

The next Si-C-Al subsystem, which was calculated using the «Terra» software package (up to a temperature of 1500K), identified 9 areas with different concentrations (table 2). The most predominant in volume are phase regions: $C_{(c)}$, $SiC_{(c)}$, $Al_4C_{3(c)}$ – (65 %), $Si_{(c)}$, $SiC_{(c)}$, $Al_{(c)}$ – (21 %), $SiC_{(c)}$, $Al_{(c)}$, $Al_4C_{3(c)}$ – (12 %) (figure 2, a).

Thermodynamic simulations of the Si-C-Al system (up to a temperature of 1600K) revealed the following 9 areas with different concentrations (table 2). The most predominant in volume are such phase regions as: $C_{(c)}$, $SiC_{(c)}$, $Al_4C_{3(c)}$ – (65 %), $Si_{(c)}$, $SiC_{(c)}$, $Al_{(c)}$ – (21 %), $SiC_{(c)}$, $Al_{(c)}$, $Al_4C_{3(c)}$ – (12 %) (figure 2, b).

Table 2

The number of phase regions in the Si-C-Al system at different temperatures

Phases	1500K	1600K	1700K	1800K
	Content, %			
$C_{(c)}$, $SiC_{(c)}$	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
$Al_{(c)}$	up to 2	up to 2	up to 2	-
$Si_{(c)}$, $SiC_{(c)}$	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
$C_{(c)}$, $Al_4C_{3(c)}$	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
$C_{(c)}$, $SiC_{(c)}$, $Al_4C_{3(c)}$	65	65	65	65
$Al_{(c)}$, $Al_4C_{3(c)}$	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
$Si_{(c)}$, $SiC_{(c)}$, $Al_{(c)}$	21	21	21	21
$C_{(c)}$	up to 2	up to 2	up to 2	up to 2
$SiC_{(c)}$, $Al_{(c)}$, $Al_4C_{3(c)}$	12	12	12	12

For a comparative analysis of the results, the Si-C-Al system was investigated on the «Terra» software package up to a temperature of 1700 and 1800K. The calculation results in the Si-C-Al system (up to a temperature of 1700K) show 9 regions with different concentrations (table 2). The most predominant by volume of them are phase regions: $C_{(c)}$, $SiC_{(c)}$, $Al_4C_{3(c)}$ – (65 %), $Si_{(c)}$, $SiC_{(c)}$, $Al_{(c)}$ – (21 %), $SiC_{(c)}$, $Al_{(c)}$, $Al_4C_{3(c)}$ – (12 %) (figure 2, c).

In the Si-C-Al system (up to a temperature of 1800K), 8 regions with different concentrations were determined (table 2). The most predominant in volume are such phase regions as: $C_{(c)}$, $SiC_{(c)}$, $Al_4C_{3(c)}$ – (65 %), $Si_{(c)}$, $SiC_{(c)}$, $Al_{(c)}$ – (21 %), $SiC_{(c)}$, $Al_{(c)}$, $Al_4C_{3(c)}$ – (12 %) (figure 2, d).

The obtained PTA results in the Fe-Al-C system show that, according to the composition and number of phases, the field of the diagram was divided into several regions. At this temperature range of 1500-1600K, the formation of three main phase regions is observed: $FeAl_{(c)}$, $C_{(c)}$, $Al_4C_{3(c)}$; $FeAl_{(c)}$, $C_{(c)}$, $Fe_3C_{(c)}$; $Fe_2Al_{5(c)}$, $Al_{(c)}$, $Al_4C_{3(c)}$. As the temperature rises to 1700-1800K, the main existing phases change with the formation of other phases, for example, the $Fe_2Al_{5(c)}$, $C_{(c)}$, $Al_4C_{3(c)}$ phase into the $FeAl_{(c)}$, $Fe_2Al_{5(c)}$, $C_{(c)}$ and $FeAl_{(c)}$, $C_{(c)}$, $Fe_3C_{(c)}$.

An analysis of the phase equilibrium diagrams in the Si-C-Al system in terms of the composition and number of phases showed that the phases formed in the entire temperature range remain unchanged. The main existing phases: $C_{(c)}$, $SiC_{(c)}$, $Al_4C_{3(c)}$; $Si_{(c)}$, $SiC_{(c)}$, $Al_{(c)}$; $SiC_{(c)}$, $Al_{(c)}$, $Al_4C_{3(c)}$.

Thus, the results of PTA in Fe-Al-C and Si-C-Al systems showed that the $FeAl_{(c)}$, $C_{(c)}$, $Al_4C_{3(c)}$ phase transform the phase: $Fe_2Al_{5(c)}$, $C_{(c)}$, $Al_4C_{3(c)}$ and $FeAl_{(c)}$, $Fe_2Al_{5(c)}$, $C_{(c)}$ in the studied temperature ranges. The use of PTA in predicting metallurgical processes occurring in high-temperature areas in Fe-Al-C and Si-C-Al systems made it possible to establish the mechanism of the main chemical reactions and determine the real stoichiometric ratio of reactions and show the correct reaction record based on the observance of phase equilibrium conditions the system. The obtained results provide the basis for compiling a specific material balance of the melting of silicon-aluminum alloys and the possibility of adjusting the composition of the alloy.

List of used literature

1. Симбинов Р.Д. Термодинамическое моделирование высокотемпературных процессов в системе Ge-O-C// Изв. МОН РК, НАН РК. Сер.хим. – Алматы, 2002. – №1. – С. 87-91.

2. Сиргетаева Г.Е. Разработка и исследование технологии обжигмагнитной переработки железомарганцевой руды Западный Камыс: 23.12.16. - дисс. док.фил. PhD: – Караганда, 2016. – 118 с.

Получено 21.07.2020

MFTAA 440105

А.А. Найзабаева, А.Е. Бакланов

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

ЭНЕРГИЯНЫ ҮНЕМДЕУ ҮШІН БАЛАМАЛЫ ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІН ҚОЛДАНУ

Мақала энергияны үнемдеу үшін балама энергия көздерін пайдалануға арналған. Нәтижесінде, күн энергиясының бағытын қолдана отырып, біз ең бай және тұрақты энергия көздерінің пайдасына пайдаланылатын отынға тәуелділікті азайтуға көмектесе аламыз.

Статья посвящена использованию альтернативных источников энергии для экономии энергии. В результате, используя направление солнечной энергии, мы можем помочь уменьшить зависимость от ископаемого топлива в пользу одного из самых богатых и устойчивых источников энергии.

The article is about the use of alternative energy sources to save energy. As a result, using the direction of solar energy, we can help reduce dependence on fossil fuels for the benefit of one of the richest and most sustainable sources of energy.

Түйін сөздер: энергия үнемдеу, күн панелі, энергия тұтыну, басқару жүйесі.

Баламалы энергия қазіргі таңда қол жетімді және қазба отынын тұтынбайды. Ол жаңартылатын және экологиялық таза болып келеді. Біз баламалы энергияны пайдалану арқылы келетін артықшылықтар мен мүмкіндіктерге назар аударуымыз қажет. Альтернативті энергияның ең көп таралған түрлерінің бірі – ол жел энергиясы [1]. Жел энергиясы жаңа энергия көзі емес, ол өте ұзақ және ғасырлар бойы қолданылған. Жұмыс принципі – күн жер бетін қыздырады және атмосфералық жылы ауаның массасы аз болады, сондықтан ол көтеріле бастайды, ал суық ауа ауыр болып, төмендей бастайды және жылы ауаны алмастыра бастайды. Бұл әуе қозғалысы планетада жел тудырады. Жел турбиналары шолуды шектейді және табиғат үшін қауіпті болуы мүмкін.

Жел энергиясымен қатар гидроэнергия да кең таралуда. Гидроэнергетика – су күші деп аталады. Бұл тез қозғалатын су немесе тез берілетін су шығаратын энергия. Олар парниктік газдарды шығармайды және экологиялық таза болып келеді. Екінші жағынан, олар су флорасы мен фаунасына жағымсыз әсер етуі мүмкін, су ағынын азайту арқылы ауыл шаруашылығына да жағымсыз әсер етуі мүмкін, құрылысқа үлкен шығындар кетеді және сынған жағдайда хаос тудыруы мүмкін [2].

Үшінші баламалы энергия көзі ретінде біз күн энергиясын қарастырамыз. Соңғы жылдары күн энергиясы айтарлықтай өзгерістерге ұшырады. Сонымен қатар қарқынды даму жолында алға шығып отыр. Күн энергиясы күн сәулесін энергия ретінде пайдаланады. Мұны күн сәулесін электр энергиясына айналдыру үшін күн элементін, сондай-ақ күн сәулесін ауа мен суды жылыту үшін пайдаланатын күн жылу панельдерін немесе күн энергиясын пассивті пайдаланып, күн сәулесін ғимараттың жылыту терезелері арқылы өткізуге болады [3].

Бұл мақалада біз күн энергиясының бағытын таңдадық, өйткені жоғарыда аталған балама энергия көздері сияқты күн энергиясы жаңартылатын және экологиялық таза болып келеді.

Біз жыл сайын күн сәулесінен алатын жалпы энергия, оны тұтынғаннан гөрі көп, яғни бұл энергия көзі болашақ үшін ең жақсы энергия көздерінің бірі болуы мүмкін. Бұл энергияны экономикалық үнемді түрде пайдалану және сақтау міндеті болып табылады [3]. Электроника мен электр құрылғыларын пайдалану мен тұтынудың артуы энергия тұтыну көлемінің бұрын-соңды болмаған өсуіне кері әсерін тигізді. Сұраныс пен ұсыныстың арасындағы алшақтыққа байланысты түпкілікті тұтынушы жыл сайын төлейтін баға жыл сайын өсіп отырады, нәтижесінде энергияны үнемдейтін технологиялар мен электр жүйелерін оңтайландыру және дамыту қажеттілігі туындайды. Күн панеліне қажетті қуатты есептеу үшін біз электр энергиясының ай сайынғы

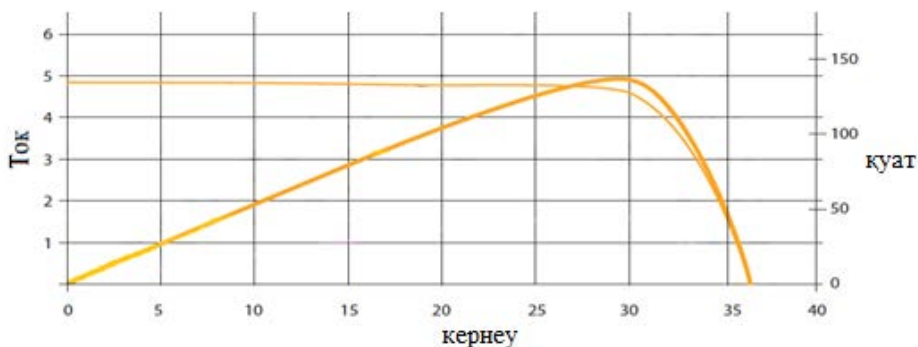
шығынын білуіміз керек. Электр есептегішке қарап, тұтынылатын электр энергиясының қажетті көлемін сағат ішінде киловаттпен анықтауға болады (1-кесте).

1-кесте

Құрылғылардың электр энергиясын тұтынуы (шамамен)

№	Электрлік аспаптар	Қуатты тұтыну, кВт	кВт/сағ	кВт/м
1	Тоңазытқыш	0,04	24	30
2	Теледидар	0,166	3	15
3	Электр пеші	1,3	1,5	58,5
4	Пеш	1,8	1 (аптасына 3 күн)	21,6
5	Кір жуатын машина	1	2 (аптасына 3 күн)	24
6	Компьютер	0,22	2	13,2
7	Ток шәйнек	1	0,5	15
8	Ыдыс жуатын машина	0,47	1	14,1
9	Шаңсорғыш	0,5	1 (аптасына 3 күн)	6
10	Үтік	0,5	0,33 (аптасына 3 күн)	2
11	Микротолқынды пеш	1	0,05	4,5
12	Мультиварка	0,166	1	5
13	Шам (10 дана) 100 Вт	0.1	3	9
14	Жылытқыш	2	1	60
15	Энергияны үнемдейтін шам (10 дана) 20 Вт	0,02	5	3

Егер шығындар, мысалы, 281 кВт×сағ болса, онда күн батареясы күніне шамамен 10 кВт×сағ электр энергиясын өндіруі керек. Осыған сүйене отырып, идеалды жағдайда 10кВт×сағ энергия алу үшін бізге кемінде 1 кВт-тық, 15 панельден тұратын панельдер массиві қажет болады деп есептеуге болады. Есептеулерде күн панельдері электр энергиясын тек күндізгі уақытта өндіретінін және олардың өнімділігі күннің көкжиектен жоғары бұрышына да, ауа-райына да байланысты екенін ескеру қажет. Орташа алғанда, барлық энергия мөлшерінің 70 %-ы таңертеңгі 9-дан кешкі 16-ға дейін шығарылады, тіпті бұлттылық немесе тұман болса да панельдердің қуаты 2-3 есе төмендейді. Егер аспан қатты бұлттарды қатайтса, онда ең жақсы жағдайда біз гелиоәуіенің максималды мүмкіндіктерінің 5-7 % ала аламыз [4] (1-сурет).

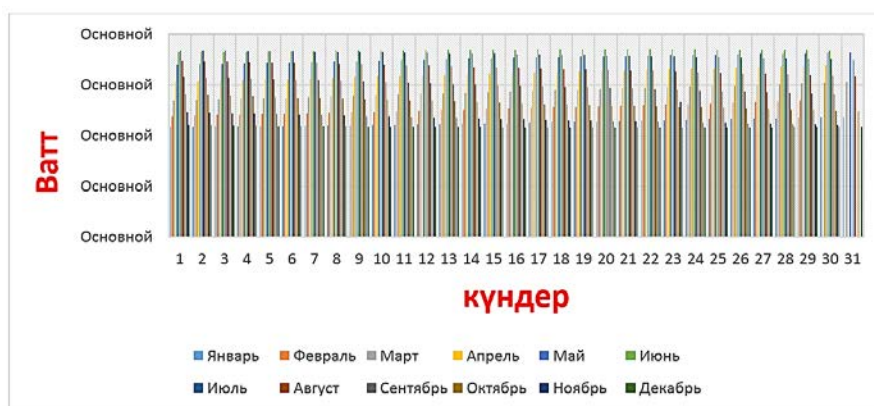


1-сурет – Кернеуге байланысты күн батареясының қуаты мен тогының графигі

Бір күнде қанша кВт электр энергиясын тұтынатындығын білу үшін күн панелі қанша энергия беретінін анықтау керек. Ол үшін бізге күн панелінің күші мен қуаты қажет. Мысалы: уақыт күн таңнан батқанға дейін ($T_{рз}$) біз панелінің қуатына көбейтеміз (P): $T_{рз} \cdot P = 542 \cdot 2 = 1084$ Вт (2-кесте) (2-сурет).

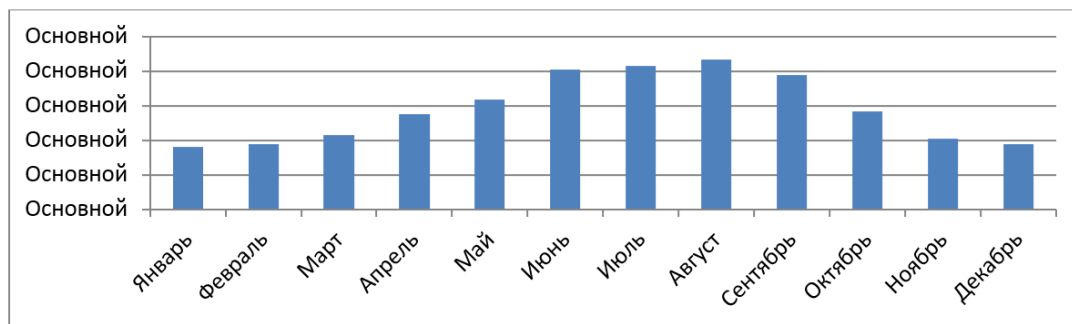
Бір күн панелінің жылдық қуаты

қаңтар	ақпан	наурыз	сәуір	мамыр	маусым	шілде	тамыз	қыркүйек	қазан	қараша	желтоқс
1084	1190	1348	1532	1698	1822	1840	1742	1580	1406	1232	1104
1086	1194	1354	1536	1704	1824	1838	1736	1574	1400	1226	1102
1088	1200	1360	1542	1708	1826	1836	1732	1568	1394	1220	1100
1090	1204	1366	1548	1712	1828	1834	1728	1562	1388	1216	1098
1092	1210	1370	1554	1718	1830	1832	1722	1556	1382	1210	1094
1094	1214	1376	1560	1722	1832	1830	1718	1550	1376	1206	1092
1096	1220	1382	1566	1728	1834	1828	1716	1546	1370	1200	1090
1098	1224	1388	1572	1732	1836	1826	1708	1540	1364	1196	1088
1100	1230	1394	1578	1736	1838	1824	1704	1534	1358	1190	1086
1104	1234	1400	1584	1742	1840	1822	1698	1528	1352	1186	1085
1106	1240	1406	1588	1746	1841	1820	1694	1522	1346	1182	1084
1110	1246	1412	1594	1750	1843	1818	1688	1516	1342	1176	1082
1112	1252	1418	1600	1754	1844	1814	1682	1510	1336	1172	1081
1116	1256	1424	1606	1760	1846	1812	1680	1504	1330	1168	1080
1118	1262	1430	1612	1764	1847	1808	1674	1498	1324	1164	1079
1122	1268	1436	1618	1768	1849	1806	1670	1492	1318	1158	1078
1126	1274	1442	1622	1772	1850	1802	1664	1488	1312	1154	1078
1130	1278	1448	1628	1776	1851	1798	1658	1482	1306	1150	1077
1134	1284	1454	1634	1780	1851	1796	1654	1476	1304	1146	1077
1136	1290	1460	1640	1784	1851	1792	1648	1470	1298	1142	1076
1140	1296	1466	1644	1786	1851	1788	1642	1464	1292	1138	1076
1144	1302	1472	1650	1790	1851	1784	1638	1458	1286	1134	1076
1148	1306	1478	1656	1794	1851	1780	1632	1452	1284	1130	1077
1152	1312	1484	1660	1798	1850	1776	1626	1446	1278	1128	1077
1158	1318	1490	1666	1800	1848	1772	1620	1440	1272	1124	1078
1162	1324	1496	1672	1804	1847	1768	1616	1434	1266	1120	1078
1166	1330	1502	1676	1808	1846	1764	1610	1428	1262	1116	1079
1170	1336	1508	1682	1810	1844	1760	1604	1422	1256	1114	1080
1176	1342	1514	1686	1814	1843	1756	1598	1416	1250	1110	1082
1180		1520	1692	1816	1841	1752	1592	1410	1246	1108	1082
1184		1526		1818		1748	1588		1240		1084



2-сурет – Бір күн панелінің жылдық қуатының графигі

Содан кейін біз күн панелі шығаратын электр энергиясының бір айдағысын есептейміз. Ол үшін бізге бір күнде өндірілетін энергияның орташа мәні (P_d) және бір айдағы бұлтты күндердің саны (K) қажет. Алынған деректерді көбейтеміз: $P_d * K = 1126,5 * 15 = 16897,5$ және жоғалған қуат аламыз. Бір айда нақты өндірілген қуатты алу үшін жоғалған қуатты (P_p) бір айда алынған қуаттан (P_m) алып тастау керек: $P_m - P_p = 34922 - 16897,5 = 18024,5$ (3-сурет).



3-сурет – Бір айда нақты өндірілген энергия (бұлтты күндерсіз)

Анықталған есептеулерге сүйене отырсақ, күн энергетикалық жүйесін орнату – бұл шығындарды азайту, сондай-ақ үйде орнатылған жүйе қоршаған ортаға айтарлықтай әсер етуі мүмкін деген қорытындыға келеміз. Сондай-ақ қазбалы отынға тәуелділікті азайту және үйде немесе жұмыста күн энергиясы жүйесін орнату арқылы денсаулығымызды жақсартып, қоршаған ортаны қорғай аламыз.

Электр энергиясына қажеттілікті егжей-тегжейлі есептей отырып және үйді толық қамтамасыз ету үшін 120 Вт қуаты бар 15 күн батареясы, жабдыктан – инвертор, контроллер және батарея қажет. Егер электр энергиясының тарифі 1 кВт үшін шамамен 19,17 теңгені құрайтынын ескеретін болсақ, онда 3500 кВт энергияны жылдық тұтыну ретінде қарастыруға болады. Электр тарифтерінің көтерілуін және инфляция коэффициентін ескере отырып, күн жүйесі орташа есеппен 11-12 жыл ішінде өзін-өзі ақтайды.

Күн батареялары 30-40 жыл бойы жұмыс істеуге бейім екенін ескере отырып, ерте ме, кеш пе, оларға салынған инвестицияларды толығымен өтейді. Мұндай электр жүйесінің тағы бір артықшылығы жылжымалы механизмдердің болмауы болып табылады, бұл олардың мерзімді ауыстырылуын және панельдің істен шығу қаупін, сондай-ақ, уақыт өте келе деградацияның өте аз, шамамен 5 % жояды. Бұл шарт модульдердің өтелуіне тікелей байланысты.

Экономикалық пайдадан басқа, күн энергиясын орнатумен бірге экологиялық пайда да бар. Қазба отынының баламалары біздің еліміздегі көміртегі ізін азайтады және бүкіл әлем бойынша парниктік газдар шығарындыларын да азайтады. Күн энергиясы қоршаған ортаға жағымды әсер ететіні белгілі. Күн энергиясына қаржы бөле отырып, біз ең бай және тұрақты энергия көздерінің бірі – біздің күніміздің пайдасына қазба отынына деген тәуелділікті азайтуға көмектесе аламыз.

Әдебиеттер тізімі

1. Different Sources of Alternative Energy // <https://www.renewableresourcescoalition.org/alternative-energy-sources/>
2. What are Alternative Energy Sources? // <https://www.conserve-energy-future.com/alternative-energysources.php>
3. Different Types of Alternative Energy Sources // <https://learning-center.homesciencetools.com/article/alternative-energy-sources/>
4. Найзабаева А.А., Бакланов А.Е. Проектирование автоматизированной системы управления светодиодным освещением с контролем исправности светодиодов.

Қабылданды 21.07.2020

МРНТИ 440105

А.А. Найзабаева, А.Е. Бакланов

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

ЭФФЕКТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ И КОНТРОЛЬ ПОТРЕБЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ СВЕТОДИОДНЫМИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫМИ ПРИБОРАМИ С ВСТРОЕННЫМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ

Статья посвящена эффективному мониторингу и контролю потребления солнечной энергии светодиодными осветительными устройствами со встроенным микроконтроллером. Для системы низкого напряжения питания была разработана светодиодная матрица.

Мақала кіріктірілген микроконтроллері бар жарықдиодты жарықтандыру құрылғыларының күн энергиясын тұтынуын тиімді бақылауға арналған. Төмен кернеу жүйесі үшін жарықдиодты матрица жасалды.

The article is devoted to effective monitoring and control of solar energy consumption by led lighting of a device with a built-in microcontroller. Low-voltage power supply system and the way the control system works to ensure the operability of LEDs, led matrices have been developed.

Ключевые слова: энергосбережение, солнечная панель, энергопотребление, микроконтроллер, система управления.

Одна из важнейших глобальных проблем XXI века – это модернизация энергетического комплекса планеты, направленная на сокращение выбросов парниковых газов, снижение и даже отказ от использования всех видов ископаемого топлива, замедление глобального потепления. Мировое сообщество однозначно решило, что без перехода на возобновляемые источники энергии (ВИЭ) наиболее пессимистично оцениваемые учеными прогнозы могут стать реальностью. В нашем современном мире, и в частности в Казахстане, большое значение придается повышению энергоэффективности систем электроснабжения для высвобождения значительного количества энергии, что приведет к сокращению выбросов парниковых газов и позволит использовать высвобожденную энергию в новых промышленных проектах.

В Париже в декабре 2015 года было выработано соглашение по климату в виде обязательств подписавших его стран по декарбонизации энергетики путем замены применения ископаемого топлива на ВИЭ. Данное соглашение было одобрено 195 странами, что позволило назвать его историческим. Оно пришло на смену действовавшему до того момента Киотскому протоколу от 1997 года, установившему квоты по выбросу парниковых газов только для нескольких развитых стран. Цель соглашения – не допустить увеличения температуры на планете более чем на 2 градуса по Цельсию. Увеличение доли ВИЭ в глобальной энергетической системе повлияет как на экспортёров, так и на импортёров топлива. Для импортёров ископаемого топлива переход к более высокой доле ВИЭ будет иметь потенциально благоприятные последствия за счёт переноса положительных факторов из торговли в экономику. Также такой переход будет означать более высокую энергетическую безопасность, которая обеспечивается большим использованием местных источников [1].

В настоящее время энергосбережение – одна из приоритетных задач. Это связано с дефицитом основных энергоресурсов, возрастающей стоимостью их добычи, а также с глобальными экологическими проблемами. Экономия энергии – это эффективное использование энергоресурсов за счет применения инновационных решений, которые осуществимы технически, обоснованы экономически, приемлемы с экологической и социальной точек зрения, не изменяют привычного образа жизни. Это определение было сформулировано на Международной энергетической конференции (МИРЭК) ООН [2]. Использование людьми при современном образе жизни большого количества электронных и электрических устройств привело к беспрецедентному росту потребления энергии. Из-за разрыва между спросом и предложением цена, уплачиваемая конечным пользователем ежегодно увеличивается. В результате возникает серьезная потребность в оптимизации энергопотребления и развитии более энергоэффективных технологий и электронных систем. Эта потребность привела к развитию новых фундаментальных и прикладных исследований в области энергосбережения [2, 3].

При разработке и проектировании автоматизированных систем управления светодиодным освещением со светодиодным контролем исправности были выполнены следующие задачи:

- разработана структура светодиодной системы освещения со светодиодами
- обоснован контроль исправности оборудования;
- определены особенности системы;
- разработана структурная схема системы управления;
- разработана структурная схема алгоритма.

Одной из важнейших функций светодиодной системы освещения является контроль эксплуатационной надежности светодиодов. Самые современные системы предлагают уровень освещенности управление и автоматическая функция включения/выключения светодиодов. Предложенная нами светодиодная система контроля состоит из следующих частей (рис. 1): источник питания; датчик тока; реле; светодиодная матрица; микроконтроллер; персональный компьютер. Светодиодная матрица состоит из 4 светодиодных полосок, каждая из которых включает в себя 8 светодиодов, соединенных последовательно. Питание для светодиодной матрицы может подаваться от источника питания или от солнечной панели. Так как каждая светодиодная лента, расположенная в матрице, является номинальной при 24 В, поэтому мы имеем возможность использовать солнечные панели в качестве источника питания, который экономит от потребления электроэнергии.

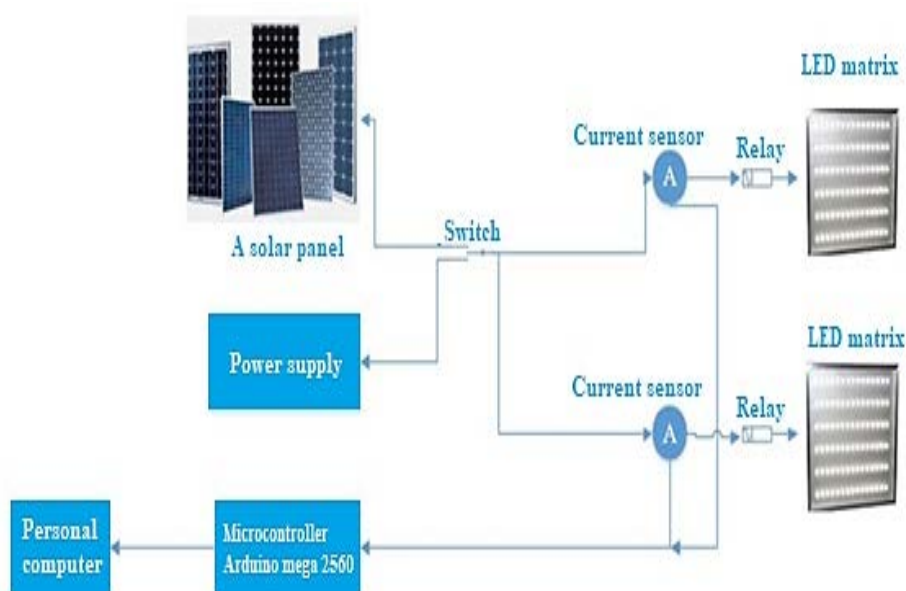


Рисунок 1 – Структурная схема системы контроля исправности светодиодов

Для того чтобы рассчитать необходимую мощность для нашей солнечной панели, необходимо знать ежемесячное электрическое потребление панели. Для определения необходимого количества электричество, потребляемое в киловаттах в часах, можно посмотреть на электросчетчике. Если ежемесячное потребляемая энергия была, например, 200 кВтч, солнечная батарея должна производить около 7 кВт*ч электроэнергии в сутки. Расчет должен учитывать, что солнечная энергия панели вырабатывают электроэнергию только в дневное время, а их производительность зависит от угла наклона Солнца над поверхностью земли, горизонта, а также на погодные условия. В среднем, до 70 % от общего количества энергии вырабатывается с 9 утра до 16 часов вечера и при наличии даже небольшого облачка или дымки, мощность панелей падает в 2-3 раза. Если небо покрыто сплошными облаками, то в лучшем случае можно иметь 5-7 % от максимальных возможностей солнечной системы (рис. 2).

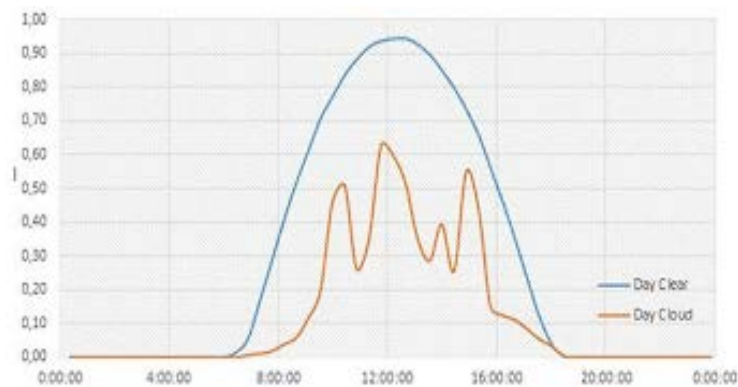


Рисунок 2 – График потребляемой солнечной энергии

Исходя из вышесказанного, можно рассчитать, что для получения 7 кВтч энергии при идеальных условиях нам понадобится массив панелей мощностью не менее 1 кВт. Если учитывать снижение производительности, связанное с изменением угла падения лучей, погодных факторов, а также потери в батареях и преобразователях энергии, то эта цифра должна быть увеличена как минимум на 50-70 процентов. Принимая это к сведению для данного примера нам понадобится солнечная панель мощностью 1,7 кВт. Дальнейший расчет зависит от того, какие фотоэлементы будут использованы. Для массива солнечных элементов с выходным напряжением 12 В и током, равный $1700 \text{ Вт} / 12 \text{ В} = 141 \text{ А}$ и нужно будет соединить 24 элемента в ряд и использовать $141 / 3 = 47$ таких рядов (1128 пластин). Площадь батареи с наиболее плотной укладкой составляет $1128 \times 0,0046 = 5,2 \text{ кВт}$. Для накопления электричества используются аккумуляторы с напряжением 12 В, 24 В или 48 В, емкости которых достаточно для хранения 7 кВтч энергии (рис. 3).

Датчик тока, подключенный к блоку питания, измеряет уровень тока, потребляемым светодиодной матрицей. Далее измеренное значение уровня тока отправляется на микроконтроллер. Микроконтроллер сравнивает полученные данные с заданным значением (некой константой).

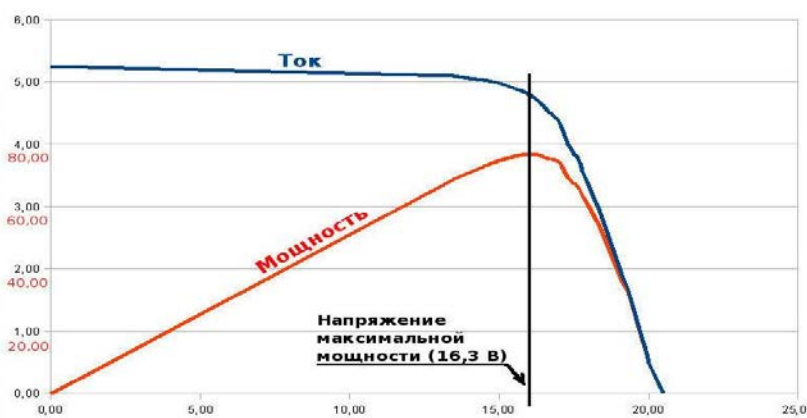


Рисунок 3 – График мощности и тока солнечной батареи 80 Вт в зависимости от напряжения

Если полученные данные меньше этого значения, то на персональном компьютере будет отображена информация о выходе из строя количества светодиодных лент в соответствующей матрице.

Если значение полученной величины больше заданного значения – это означает, что в системе произошло короткое замыкание. В этом случае, в первую очередь сгорит блок питания, если у него нет защиты от короткого замыкания, погаснут все светодиодные матрицы, кроме того, есть большая вероятность возникновения пожара. Поэтому мы предлагаем установить на светодиод-

ную матрицу твердотельное реле и подключить его к микроконтроллеру. Микроконтроллер будет управлять светодиодной матрицей через реле. Это позволит нам обесточить светодиодную матрицу в случае короткого замыкания, что обеспечивает безопасность работы системы.

Особенность предлагаемой системы – использование для питания светодиодов низковольтного источника питания 24 В. В обычных административных зданиях используется 4×18 Вт люминесцентные светильники, их светоотдача 4000 К. Мощность светодиодных матриц с такой светоотдачей в два раза меньше – 32 Вт, что позволит при освещении затрачивать в два раза меньше электроэнергии. Использование низковольтной системы освещения допускает включение в систему освещения альтернативных источников энергии (в нашем примере солнечную энергию). Возможность использования солнечной энергии увеличивает энергоэффективность системы.

Структурная блок-схема алгоритма программы представлена на рис. 4. Опишем алгоритм работы. Задаем некое значение A , которое будет являться константой, необходимой для дальнейшей работы. Объявляем переменную $tokd$. Это значение $tokd$ будет показывать значение, полученное от датчика тока. После этого от константы отнимаем полученный значение от датчика тока. Далее проверяется первое условие: $A - tokd \geq \text{const } f$. Если данное условие выполняется, тогда на экране ПК будет отображена информация о том, что светодиодная лента соответствующей светодиодной матрицы «сгорела» и цикл повторяется снова, пока мы не устраним неисправность светодиода. Если условие $A - tokd \geq \text{const } f$ не выполняется, проверяется следующее условие: $A - tokd < 0,0 f$. Если условие выполняется, тогда возникло короткое замыкание, в этом случае отключается светодиодная матрица и снова выполняется сравнение. После того, как условие $A - tokd < 0,0 f$ не будет выполняться, проверяется последнее условие: $A - tokd = 0,0 f$. Если условие выполняется, значит все светодиодные ленты исправны. В случае если указанное условие не выполняется, цикл вернется к первому сравнению и будет повторяться до тех пор, пока возникшие в системе неполадки не будут устранены.

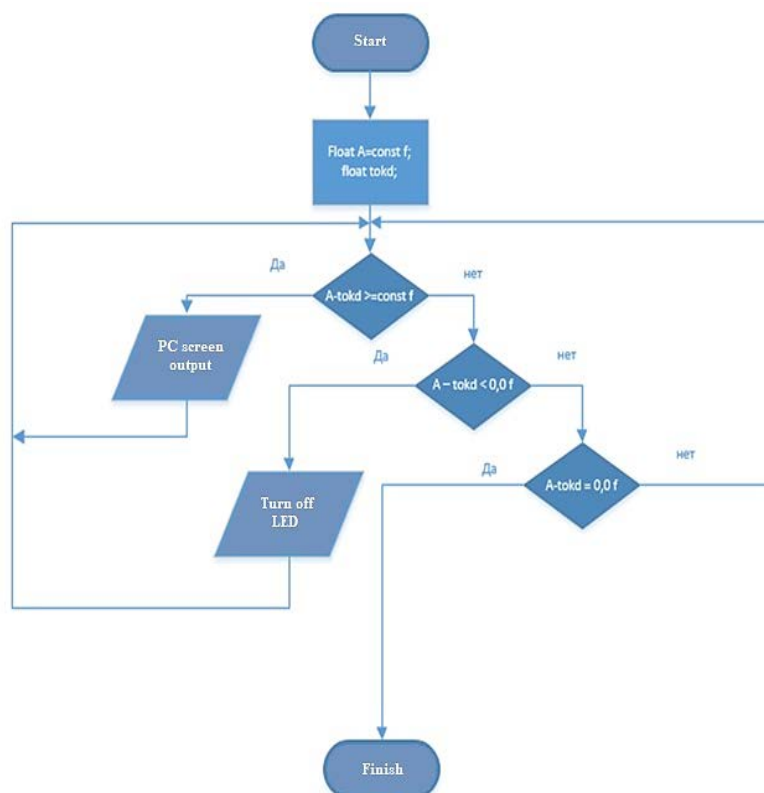


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма программы

Предлагаемая система контроля исправности светодиодов предоставляет уникальную возможность экономить электроэнергию при безопасной работе всей системы. На данном этапе работы проанализированы и приведены теоретические сведения, которые раскрывают основы управления светодиодной системой освещения. Представлена структурная схема системы контроля и описан принцип ее работы, разработан алгоритм программы, который представлен в виде блок-схемы, приведено его описание.

Список литературы

1. Хелен Бриггс. В чем суть Парижского соглашения по климату и почему оно важно? – <https://www.bbc.com/russian/features40118229>
2. Система управления освещением DALI. – <http://electricalschool.info/main/lighting/827-sistema-upravleniya-osveshheniem-dali.html>
3. Арутюнян, А. А. Основы энергосбережения: моногр. / А.А. Арутюнян. – М.: Энергосервис, 2014. – 600 с.

Получено 21.08.2020

МРНТИ 29.19

**А.С. Опанасюк¹, А.А. Возный¹, С.В. Плотников², Г.К. Уазырханова², Н.К. Ердубаева²,
Ж.К. Уазырханова²**

¹Сумский государственный университет, г. Сумы, Украина

²Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

ТЕРМИЧЕСКИ ИНДУЦИРОВАННЫЙ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД В ПЛЕНКАХ Sn_xS_y

Настоящая работа посвящена исследованию структурных особенностей и фазового состава пленок Sn_xS_y полученных послеростовой обработкой, в частности термически индуцированного перехода в пленках Sn_xS_y . Результаты экспериментальных исследований показали, что отжиг образцов SnS_2 при температуре и времени меньших соответственно 673 К и 90 мин не приводит к каким-либо изменениям фазового состава по сравнению с неотожженными пленками дисульфида олова; происходит термически-индуцированный фазовый переход от гексагональной структуры SnS_2 к орторомбической SnS ; рамановский спектр неотожженного образца демонстрирует пик слабой интенсивности при частоте 205 см^{-1} и интенсивный пик при 314,5 см^{-1} , они соответствуют модам фоновых колебаний E_g и A_{1g} – соединения SnS_2 соответственно; анализ рамановских спектров для образцов D573-30 и D573-60 не выявил присутствия каких-либо следов вторичных фаз.

Бұл жұмыс өсуден кейінгі өңдеу арқылы алынған Sn_xS_y пленкаларының құрылымдық ерекшеліктері мен фазалық құрамын, атап айтқанда Sn_xS_y пленкаларындағы термиялық индукцияланған ауысуды зерттеуге арналған. Эксперименттік зерттеулердің нәтижелері SnS_2 үлгілерін сәйкесінше 673 К және 90 минуттан аз температурада және одан аз уақытта күйдіру, қалайы дисульфидінің күйдірілмеген пленкаларымен салыстырғанда фазалық құрамның өзгеруіне әкелмейтінін көрсетті; термиялық индукцияланған фазалық ауысу SnS_2 гексагональді құрылымынан орторомбалық SnS -ке өтеді; күйдірілмеген үлгінің Раман спектрі 205 см^{-1} жиіліктегі төмен қарқындылық шыңын және 314,5 см^{-1} қарқынды шыңды көрсетеді, сәйкесінше E_g және A_{1g} – SnS_2 қосылыстарының дыбыстық тербелістерінің режимдеріне сәйкес келеді; D573-30 және D573-60 үлгілері үшін Раман спектрлерінің талдауы қайталама фазалардың іздерін анықтаған жоқ.

This work is devoted to the study of the structural features and phase composition of Sn_xS_y films obtained by post-growth processing, in particular, the thermally induced transition in Sn_xS_y films. The results of experimental studies have shown that annealing of SnS_2 samples at temperatures and times less than 673 K and 90 min, respectively, does not lead to any changes in the phase composition compared to unburned tin disulfide films; there is a thermally induced phase transition from the hexagonal SnS_2 structure to the orthorhombic SnS ; the Raman spectrum of the unburned sample shows a weak peak intensity at a

frequency of 205 cm^{-1} and an intense peak at 314.5 cm^{-1} , they correspond to the modes of phonon vibrations of E_g and $A1g$ - compound SnS_2 , respectively; analysis of the Raman spectra for samples D573-30 and D573-60, did not reveal the presence of any traces of secondary phases.

Ключевые слова: полупроводниковые пленки, термически индуцированный фазовый переход, фазовый состав, послеростовая обработка, отжиг

Введение. Как известно, тонкие пленки SnS и SnS_2 были синтезированы различными физическими и химическими методами: атомное осаждение слоев (ALD) [1], соиспарение [2], испарение в КЗО [3], метод горячей стенки [4], электрохимическое осаждение [5], химическое осаждение из паровой фазы (CVD) и т.д. Каждый из методов получения пленок Sn_xS_y имеет как свои преимущества, так и недостатки. Для создания высокоэффективных СЭ нужны стехиометрические слои Sn_xS_y с оптимальными структурными, оптическими и электрофизическими характеристиками. Структурные особенности и фазовый состав пленок Sn_xS_y в значительной степени определяются физико-технологическими условиями их получения и послеростовой обработки [1, 6].

В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы является исследование структурных особенностей и фазового состава пленок Sn_xS_y полученных послеростовой обработкой, в частности термически индуцированного перехода пленок в пленках Sn_xS_y

Материал и методы исследования. Полупроводниковые пленки SnS , SnS_2 были получены с использованием установки ВУП-5М при давлении остаточных газов в вакуумной камере не более $5 \cdot 10^{-3}$ Па на стеклянных подложках с нанесенным токопроводящим слоем $(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.9} - (\text{SnO}_2)_{0.1}$ (ИТО). Подложки перед осаждением пленок предварительно очищались с помощью изопропилового спирта в ультразвуковой ванне. Отжиг образцов проводился в вакууме при температурах $T_a = (573-873)$ К в течение $t_a = (30-90)$ мин. Определение структурно-фазового состава пленок проводилось с использованием рентгеновского дифрактометра Rigaku Ultima + и ДРОН-4-07. При исследованиях использовались $\text{Cu K}\alpha$ излучения и фокусировка по Брэггу-Брентано. Съемка образцов проводилась в режиме непрерывной регистрации (скорость – $1^\circ / \text{мин}$) в диапазоне Брегговских углов 2θ от 10° до 80° . Рамановского спектры измерялись на установке Renishaw InVia90V727 в геометрии обратного рассеяния при комнатной температуре. В качестве источника возбуждения использовался полупроводниковый лазер с длиной волны $\lambda = 785$ нм и аргоновый зеленый с $\lambda = 514$ нм. Запись сигнала осуществлялась с помощью ПЗС-камеры. Калибровка прибора проводилась с использованием кремниевого образца, пик от которого должен соответствовать частоте 520 cm^{-1} . Морфология поверхности и химический состав пленок Sn_xS_y изучались с помощью автоэмиссионного сканирующего электронного микроскопа FEI Nova NanoSEM 650 с интегрированной приставкой для энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии Apollo X (ЕДРС). Толщина полученных слоев Sn_xS_y была определена путем фотографирования поверхности скола пленки (путем фрактографии).

Экспериментальные исследования проводились в научных лабораториях Сумского государственного университета (Украина) и лаборатории инженерного профиля «ІРГЕТАС» Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева.

Результаты и их обсуждения. Для того чтобы избежать неверной интерпретации пиков от состава Sn_xS_y на дифрактограммах были измерены спектры от стеклянной подложки с токопроводящим слоем ИТО. Такие подложки были использованы для осаждения пленок SnS_2 (пленки, полученные из исходной шихты SnS_2 , толщина $d \sim 4$ мкм) и их последующего термического отжига. Как видно из рис. 1, а на рентгенограмме фиксируются дифракционные линии, характерные для соединения ИТО [7,8]. В дальнейшем эти результаты были учтены при анализе фазового состава пленок Sn_xS_y .

Дифрактограммы от неотожженных (SnS_2) и отожженных пленок Sn_xS_y представлены на рис. 1, б-д. Неотожженный образец (рис. 1, б) демонстрирует отражение от кристаллографических плоскостей (001), (100), (101), (110) и (111) гексагональной фазы SnS_2 [9]. Наличие вторичных фаз (SnS или Sn_2S_3) в пленке не обнаружено.

Отжиг образцов SnS_2 при температуре и времени меньших соответственно 673 К и 90 мин не приводит к каким-либо изменениям фазового состава по сравнению с неотожженными пленками дисульфида олова. В то же время анализ дифрактограммы от образца D673-90 (рис. 1, в) позволил

выявить интенсивные отражения от плоскостей (220), (111), (121) и (221) орторомбической фазы Sn_2S_3 [10] и отражения от плоскостей (211) и (160) орторомбической фазы SnS [11].

Рентгеноструктурные исследования образца D773-30 (рис. 1, з) демонстрируют значительное изменение фазового состава пленок Sn_xS_y после отжига. В частности, на дифрактограмме наблюдаются линии от плоскостей (110), (120), (021), (131), (210), (211), (122), (042), (251) орторомбической фазы SnS . От гексагональной фазы SnS_2 осталось только одно слабое отражение, которое соответствует плоскости (001). Таким образом, можно утверждать, что происходит термически индуцированный фазовый переход от гексагональной структуры SnS_2 к орторомбической SnS . Дальнейшее увеличение времени отжига до 60 мин при температуре 773 К (D773-60) способствует уменьшению интенсивности линии (001) фазы SnS_2 (рис. 1, з).

В заключение следует отметить, что образец D773-90 демонстрирует присутствие чистой фазы SnS , о чем свидетельствует дифрактограмма без дополнительных пиков, соответствующих фазам SnS_2 или Sn_2S_3 (рис. 1, д). Стоит также отметить, что высокая интенсивность линий фазы SnS с низким уровнем шума свидетельствует о высоком качестве кристаллической структуры трансформированных пленок сульфида олова.

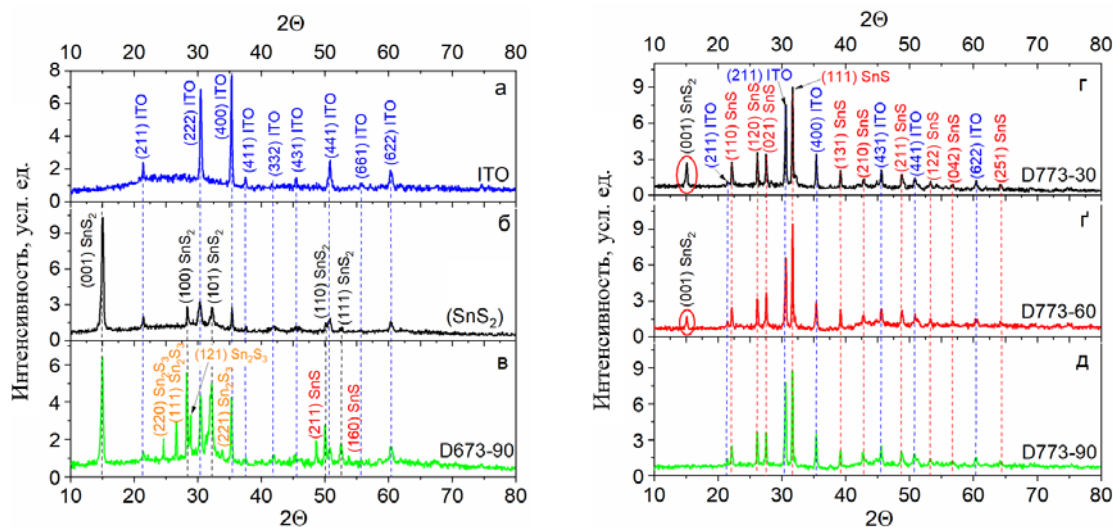


Рисунок 1 – Дифрактограммы от образцов Sn_xS_y серии D: подложка с токопроводящим слоем ITO (а), неотожженный образец SnS_2 (б) и термически отожженные образцы – D673-90 (в), D773-30 (з), D773-60 (и), D773-90 (д)

Для неотожженной пленки (SnS_2) и образца D773-90 были рассчитаны параметры кристаллической решетки. Постоянные решетки неотожженного образца составляют $a = 0,365$ нм и $c = 0,586$ нм, их значения хорошо согласуются с эталонными данными для монокристалла SnS_2 [9]. Рассчитанные параметры решетки образца D773-90 составляют $a = 0,430$ нм, $b = 1,117$ нм, $c = 0,398$ нм и также хорошо коррелируют со справочными данными для монокристалла сульфида олова [11].

Рамановские спектры от неотожженных (SnS_2) и отожженных при различной температуре образцов (серия D) представлены на рис. 2. Как видно из рис. 2, а, рамановский спектр неотожженного образца демонстрирует пик слабой интенсивности при частоте 205 см^{-1} и интенсивный пик при $314,5\text{ см}^{-1}$, они соответствуют модам фоннных колебаний E_g и A_{1g} – соединения SnS_2 соответственно [12].

Анализ рамановских спектров для образцов D573-30 и D573-60 не выявил присутствия каких-либо следов вторичных фаз (Sn_2S_3 или SnS), в то время как образец D573-90 демонстрирует один дополнительный пик слабой интенсивности на частоте $96,5\text{ см}^{-1}$ (рис. 2, б). Согласно эталонным данным [13], этот пик соответствует моде A_g – соединения SnS . Следует отметить, что рентгеноструктурный анализ не обнаружил вторичных фаз для этого образца. Это может быть объяснено присут-

ствием небольшого количества фазы SnS в образце D573-90, которая фиксируется методом рамановской спектроскопии, но не фиксируется методом рентгеновского анализа вследствие малой чувствительности последнего. Увеличение температуры отжига до 673 K (D673-90) приводит к увеличению относительной интенсивности моды A_g – соединения SnS (рис. 2, в). Также на спектрах от этого же образца были идентифицированы дополнительные интенсивные пики при частоте 285 и 225 см^{-1} , соответствующие моде A_g – фазы SnS, и один пик слабой интенсивности при 154 см^{-1} , что согласуется с эталонным значением для соединения Sn_2S_3 (мода A_g) [14]. Следует отметить, что в образце D673-90 также наблюдается интенсивный пик от фазы SnS_2 на частоте 314,5 см^{-1} . Эти результаты свидетельствуют о том, что образец, отожженный при 673 K в течение 90 мин (D673-90), содержит смесь фаз.

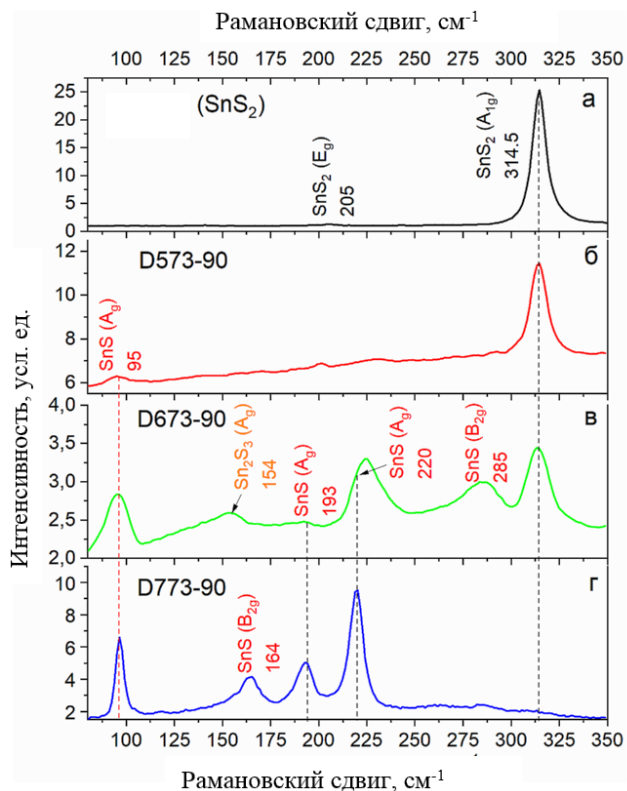


Рисунок 2 – Рамановские спектры от образцов Sn_xS_y серии D: неотожженный образец – SnS_2 (а) и термически отожженные образцы – B573 (б), B673 (в) и B773 (г)

Анализ рамановских спектров для образцов D773-30, D773-60 и D773-90 позволил сделать вывод, что они идентичны и имеют только пики, соответствующие фазе SnS, а именно: пики на частотах 95, 193 и 220 см^{-1} , которые хорошо согласуются с положением пиков моды A_g , а пик, расположенный при 164 см^{-1} , соответствует моде B_{2g} (рис. 2, г). С другой стороны, рентгеноструктурный анализ образцов D773-30 и D773-60 обнаружил следы фазы SnS_2 . Учитывая тот факт, что глубина проникновения излучения рамановского лазера ($\lambda=785$ нм) в пленку SnS составляет около 200 нм, можно сделать вывод, что небольшое количество фазы дисульфида олова находится у подложки, где происходит менее интенсивное обеднение материала серой в процессе термического отжига. Таким образом, рамановская спектроскопия подтверждает данные рентгеноструктурного анализа.

На основании полученных результатов исследования можно сделать следующие выводы:

- показано, что отжиг образцов SnS_2 при температуре и времени меньших соответственно 673 K и 90 мин не приводит к каким-либо изменениям фазового состава по сравнению с неотожженными пленками дисульфида олова;

– определено, что происходит термически индуцированный фазовый переход от гексагональной структуры SnS_2 к орторомбической SnS ;

– показано, что рамановский спектр неотожженного образца демонстрирует пик слабой интенсивности при частоте 205 см^{-1} и интенсивный пик при $314,5 \text{ см}^{-1}$, они соответствуют модам фононных колебаний E_g и A_{1g} – соединения SnS_2 соответственно;

– установлено, что анализ рамановских спектров для образцов D573-30 и D573-60 не выявил присутствия каких-либо следов вторичных фаз.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки МОН РК по теме «Оптимизация структуры и фазового состава соединений Sn_xS_y и $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$ для пленочных солнечных элементов третьего поколения» по договору №104 от 5 марта 2018 года.

Список литературы

1. O.V. Bilousov, Y. Ren, T. Törndahl, O. Donzel-Gargand, T. Ericson, C. Platzer-Björkman, M. Edoff, C. Hägglund, Atomic Layer Deposition of Cubic and Orthorhombic Phase Tin Monosulfide // *Chemistry of Materials* 29(7) (2017) 2969-2978.
2. A.A. Voznyi, V.V. Kosyak, A.S. Opanasyuk, V.M. Kuznetsov, Structural Properties of the Sn_xS_y Films Obtained by the Thermal Vacuum Co-evaporation // *Proceedings of the international conference nanomaterials: applications and properties*, 16-23 September. – Lviv, Ukraine, 2014. – Pp. 1-4.
3. N.R. Paudel, X. Chuanxiao, Y. Yanfa, Study of close space sublimation (CSS) Grown SnS thin-films for solar cell applications // *2015 IEEE 42 nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*, 2015. – Pp. 1-3.
4. S.A. Bashkirov, V.F. Gremenok, V.A. Ivanov, V.V. Lazenka, K. Bente, Tin sulfide thin films and $\text{Mo/p-SnS/n-CdS/ZnO}$ heterojunctions for photovoltaic applications // *Thin Solid Films* 520 (17) (2012) 5807-5810.
5. S. Cheng, Y. He, G. Chen, Structure and properties of SnS films prepared by electro-deposition in presence of EDTA // *Materials Chemistry and Physics* 110 (2) (2008) 449-453.
6. V. Kosyak, A. Opanasyuk, P.M. Bukivskij, Y.P. Gnatenko, Study of the structural and photoluminescence properties of CdTe polycrystalline films deposited by close-spaced vacuum sublimation // *Journal of Crystal Growth* 312 (10) (2010) 1726-1730.
7. E. Nam, Y.-H. Kang, D.-J. Son, D. Jung, S.-J. Hong, Y.S. Kim, Electrical and surface properties of indium tin oxide (ITO) films by pulsed DC magnetron sputtering for organic light emitting diode as anode material // *Surface and Coatings Technology* 205 (2010) S129-S132.
8. R.N. Chauhan, R.S. Anand, J. Kumar, Structural, electrical and optical properties of radio frequency sputtered indium tin oxide thin films modified by annealing in silicon oil and vacuum // *Thin Solid Films* 556 (2014) 253-259.
9. SnS_2 PDF-2 card no. 00-001-1010.
10. Sn_2S_3 PDF-2 card no. 00-014-0619.
11. SnS PDF-2 card no. 00-014-0620.
12. A.J. Smith, M.P. E., W.Y. Liang, Raman scattering studies of SnS_2 and SnSe_2 // *Journal of Physics C: Solid State Physics* 10 (1977) 1321-1333.
13. H.R. Chandrasekhar, R.G. Humphreys, U. Zwick, M. Cardona, Infrared and Raman spectra of the IV-VI compounds SnS and SnSe // *Physical Review B* 15 (4) (1977) 2177-2183.
14. H.R. Chandrasekhar, D.G. Mead, Long-wavelength phonons in mixed-valence semiconductor $\text{Sn}_{11}\text{Sn}_{14}\text{S}_3$ // *Physical Review B* 19 (2) (1979) 932-937.

Получено 21.07.2020

МРНТИ 29.19

А.С. Опанасюк¹, А.А. Возный¹, С.В. Плотников², Г.К. Уазырханова², Н.К. Ердыбаева²,
Ж.К. Уазырханова²

¹Сумский государственный университет, г. Сумы, Украина

²Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

СТРУКТУРНЫЕ, ОПТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК Sn_xS_y , НАНЕСЕННЫХ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Настоящая работа посвящена исследованию структурных, оптических и электрических свойств пленок Sn_xS_y нанесенных в различных условиях. Результаты экспериментальных исследований показали, что отжиг образцов при температурах ниже 400°C (S300-30, S300-60 и S300-90) не приводит к каким-либо существенным изменениям на дифрактограммах по сравнению с неотожженными пленками SnS_2 ; происходит термически индуцированный фазовый переход от гексагональной структуры SnS_2 к орторомбической SnS ; параметры решетки неотожженного образца: $a=0,365$ нм, $c=0,586$ нм, постоянные решетки образца S500-90: $a=0,430$ нм, $b=1,117$ нм и $c=0,398$ нм; электрическое сопротивление неотожженной пленки составляет $1,01 \times 10^5$ Ом·см. Электрическое сопротивление пленки составляет $1,18 \times 10^3$ Ом·см.

Бұл жұмыс өртүрлі жағдайларда жағылған Sn_xS_y пленкаларының құрылымдық, оптикалық және электрлік қасиеттерін зерттеуге арналған. Эксперименттік зерттеулердің нәтижелері үлгілерді 400°C -тан төмен температурада (S300-30, S300-60 және S300-90) күйдіру, күйдірілмеген SnS_2 пленкаларымен салыстыраанда, дифрактограммаларда қандай да бір елеулі өзгерістерге әкелмейтінін көрсетті; термиялық индукцияланған фазалық ауысу SnS_2 гексагональді құрылымынан орторомбалық SnS -ке өтеді; күйдірілмеген үлгі торының параметрлері ($a=0,365$ нм және $c=0,586$ нм), үлгі торларының тұрақтылары S500-90 ($a=0,430$ нм, $b=1,117$ нм және $c=0,398$ нм); өңделмеген пленканың электрлік кедергісі $1,01 \times 10^5$ Ом·см. Пленканың электрлік кедергісі $1,18 \times 10^3$ Ом·см.

This work is devoted to the study of the structural, optical, and electrical properties of Sn_xS_y films deposited under various conditions. The results of experimental studies have shown that annealing of samples at temperatures below 400°C (S300-30, S300-60, and S300-90) does not lead to any significant changes in the diffractograms compared to unburned SnS_2 films; there is a thermally induced phase transition from the hexagonal SnS_2 structure to the orthorhombic SnS ; the lattice parameters of the unburned sample ($a=0.365$ nm and $c=0.586$ nm), the lattice constants of the sample S500-90 ($a=0.430$ nm, $b=1.117$ nm and $c=0.398$ nm); the electrical resistance of the unburned film is 1.01×10^5 Ohm·cm. The electrical resistance of the film is 1.18×10^3 Ohm·cm.

Ключевые слова: полупроводниковые пленки, оптические свойства, электрические свойства, послеростовая обработка, отжиг

Введение. Бинарная система Sn_xS_y вызывает значительный научный интерес, поскольку ее уникальные свойства позволяют создавать гетеропереходные (ГП) пленочные солнечные элементы (СЭ) третьего поколения. Это обусловлено тем, что соединение SnS , благодаря p -типа проводимости, высокому коэффициенту поглощения $\alpha \sim 10^5$ см⁻¹ и близкому к оптимуму Шокли-Квайсера значению ширины запрещенной зоны ($E_g=1,1...1,3$ эВ), может быть использовано как поглощающий слой высокоэффективных фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) солнечной энергии с теоретическим КПД до 32 %.

В то же время, благодаря большому значению ширины $33 E_g = (2,2...2,8)$ эВ и электронному типу проводимости, соединение SnS_2 считается перспективным материалом для создания оконных слоев СЭ. Бинарные соединения Sn_xS_y не содержат редких (In, Ga) и экологически опасных (Cd) элементов, входящих в состав традиционных буферных и поглощающих слоев СЭ - CdTe , CuInSe_2 (CIS), Cu(In, Ga)Se_2 (CIGS), CdS . Это делает соединение Sn_xS_y перспективной альтернативой четырехкомпонентному полупроводнику $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS), который в настоящее время считается основным материалом поглощающих слоев СЭ для широкомасштабного наземного использования. В отличие от CZTS однофазные пленки SnS могут быть получены несколькими дешевыми и технологически простыми методами. Однако рекордная эффективность ФЭП на основе поглоща-

ющих слоев SnS в наше время составляет лишь 4,4 %, что объясняется низким структурным качеством синтезируемого материала, большим количеством рекомбинационных центров и образованием вторичных фаз (SnS_2 и Sn_2S_3).

Еще одним важным фактором, который обуславливает низкую эффективность приборов является то, что при их создании используются конструкции и технологии характерные для традиционных пленочных СЭ (например, $n\text{-CdS} / p\text{-CdTe}$). Таким образом, повышение эффективности ФЕП на основе пленок Sn_xS_y требует комплексного исследования влияния физико-технологических условий нанесения и послеростовой обработки на структурные, субструктурные, электрофизические и оптические характеристики таких слоев и разработки концептуально новых подходов к созданию гетероструктур на их основе.

В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы является исследование структурных, оптических и электрических свойств пленок Sn_xS_y , нанесенных в различных условиях.

Материал и методы исследования. Полупроводниковые пленки SnS, SnS_2 были получены с использованием установки ВУП-5М при давлении остаточных газов в вакуумной камере не более $5 \cdot 10^{-3}$ Па на стеклянных подложках с нанесенным токопроводящим слоем $(\text{In}_2\text{O}_3)_{0,9} - (\text{SnO}_2)_{0,1}$ (ITO). Подложки перед осаждением пленок предварительно очищались с помощью изопропилового спирта в ультразвуковой ванне. Отжиг образцов проводился в вакууме при температурах $T_a = (573 \dots 873)$ К в течение $t_a = (30 \dots 90)$ мин. Морфология поверхности и химический состав пленок Sn_xS_y изучались с помощью автоэмиссионного сканирующего электронного микроскопа FEI Nova NanoSEM 650 с интегрированной приставкой для энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии Apollo X (ЕДРС). Толщина полученных слоев Sn_xS_y была определена путем фотографирования поверхности скола пленки (путем фрактографии). Экспериментальные исследования проводили в научных лабораториях Сумского государственного университета (Украина) и лаборатории инженерного профиля «IPGETAC» Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева.

Результаты и их обсуждения. Дифрактограммы от неотожженных и отоженных образцов представлены на рис. 1. Чтобы избежать неправильной интерпретации пиков рентгенодифрактограмм от пленок Sn_xS_y , были также получены рентгеноструктурные спектры ИТО, нанесенного на стеклянную подложку (рис. 1). Из рис. 1 видно, что на дифрактограммах обнаруживаются отражения от кристаллографических плоскостей (001), (100), (101), (110) и (111) гексагональной фазы SnS_2 . Наличие каких-либо вторичных фаз в пленке не выявлено. Установлено, что в исследованных слоях наблюдается текстура [001]. Следует отметить, что такая же текстура наблюдается в тонких пленках SnS_2 , полученных термическим вакуумным испарением и методами химического осаждения с использованием плазмы [1].

Отжиг образцов при температурах ниже 400 °С (S300-30, S300-60 и S300-90) не приводит к каким-либо существенным изменениям на дифрактограммах по сравнению с неотожженными пленками SnS_2 . Дифрактограмма образца S400-90 (рис. 1, с) содержит интенсивные отражения от плоскостей орторомбической фазы Sn_2S_3 и плоскостей (211) и (160) орторомбической фазы SnS.

Исследование структуры образца S500-30 свидетельствует о значительном изменении его фазового состава после отжига (рис. 1, d), а именно, на дифрактограммах наблюдались отражения от кристаллографических плоскостей (110), (120), (021), (131), (210), (211), (122), (042) и (251) SnS. В то же время в спектре было обнаружено лишь одно отражение от плоскости (001) фазы SnS_2 .

Таким образом, происходит термически индуцированный фазовый переход от гексагональной фазы SnS_2 к орторомбической SnS. Дальнейшее увеличение времени отжига до 60 мин (S500-60) приводит к уменьшению интенсивности линии (001), связанной с SnS_2 (рис. 1, e). Образец S500-90 состоит из чистой фазы SnS, соответственно на дифрактограмме пики фазы SnS_2 не наблюдаются (рис. 1). Стоит также отметить, что высокая интенсивность линий SnS с низким уровнем фона на рентгенограммах указывает на высокое качество полученных пленок сульфита олова [2].

Были рассчитаны параметры решетки материала неотожженных пленок и образца S500-90. Параметры решетки неотожженного образца: $a = 0,365$ нм, $c = 0,586$ нм. Постоянные решетки образца S500-90: $a = 0,430$ нм, $b = 1,117$ нм и $c = 0,398$ нм.

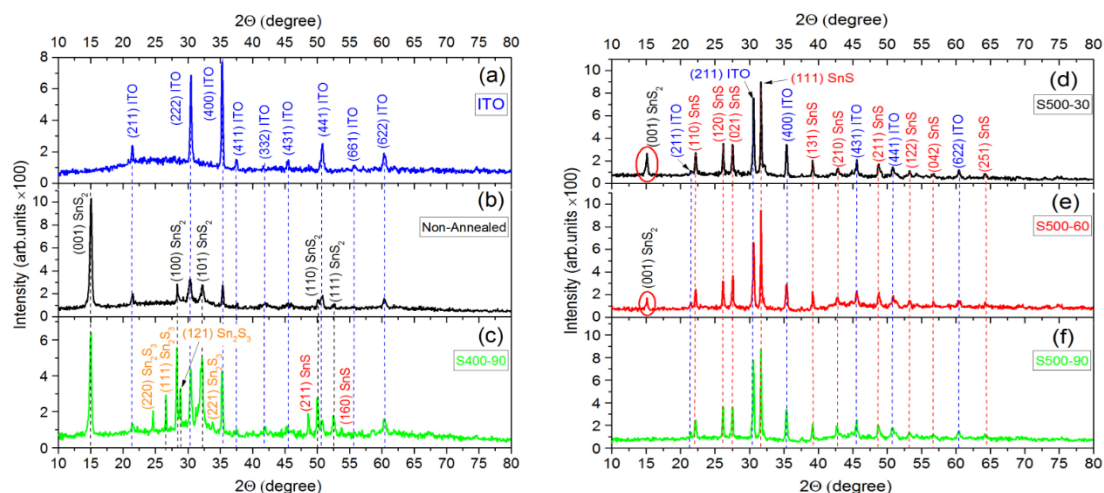


Рисунок 1 – Дифрактограммы от пленок: а – стеклянная подложка с покрытием ИТО; б – неотожженный образец; с – образец S400-90 после отжига; d – образец S500-30 после отжига; e – образец S500-60 после отжига; f – образец S500-90 после отжига

Подслои ИТО существенно влияют на спектры оптического пропускания пленок SnS_2 . Чтобы избежать такого влияния и получить более точные значения ширины запрещенной зоны материала, были исследованы образцы, нанесенные на подложки из стекла.

На рис. 2 показаны спектры оптического отражения (рис. 2, *а*) и пропускания (рис. 2, *б*) для неотожженных образцов и образца S500-90.

Пленки имеют высокий коэффициент отражения и высокий коэффициент пропускания. Хорошо видно, что отжиг образца привел к значительному смещению основного края поглощения в спектрах пропускания и отражения. Это указывает на изменение оптической полосы пропускания в материале после отжига образца.

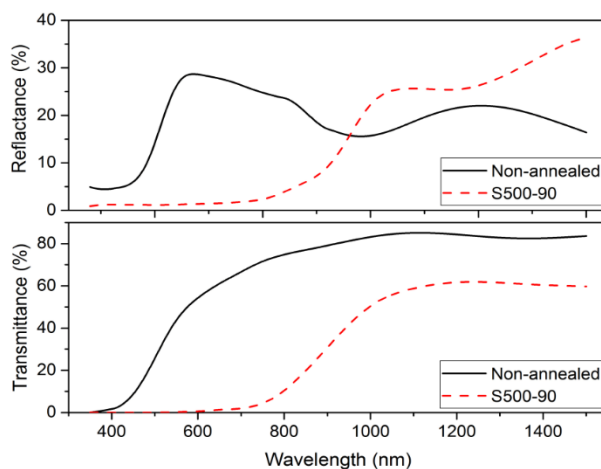


Рисунок 2 – Спектры оптического отражения (а) и пропускания (б) тонких слоев Sn_xS_y

Хорошо известно, что неупорядоченная структура кристаллитов поликристаллических пленок Sn_xS_y затрудняет определение их оптической ширины запрещенной зоны. Например, в работах [3, 4] показано, что E_g материала в значительной степени зависит от условий роста и толщины пленки. На рис. 3 приведены спектры пропускания от пленок SnS_2 различной толщины. Из рисунка хорошо видно, что для всех исследованных слоев спектры имеют участки сильного

($h\nu < E_g$) и слабого ($h\nu > E_g$) пропускания. Установлено, что увеличение толщины пленок от 200 до 1700 нм приводит к значительному изменению положения края поглощения материала в сторону больших длин волн. Это обусловлено тем, что оптическая ширина запрещенной зоны материала уменьшает свое значение с увеличением толщины пленок SnS_2 (табл. 1).

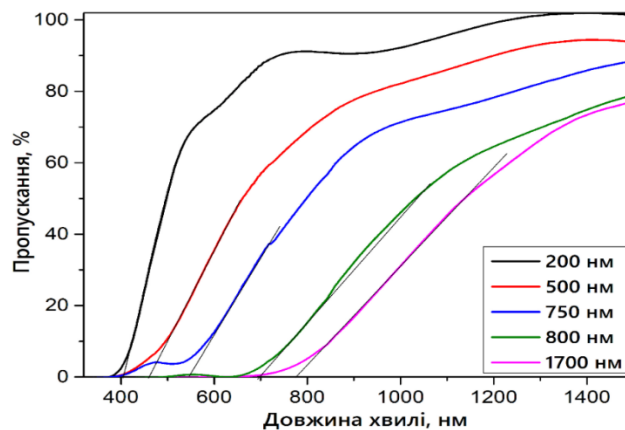


Рисунок 3 – Спектры оптического пропускания от пленок SnS_2 различной толщины

Такой характер изменения спектров может быть объяснен эффектом изменения степени кристалличности пленок и преимущественной ориентации кристаллитов в материале, что обуславливает сильную анизотропию оптических свойств образцов [5].

Таблица 1

Зависимость ширины запрещенной зоны от толщины пленок SnS_2

E_g , эВ	Толщина пленки, нм
2,98	200
2,72	500
2,68	700
2,56	800
2,44	1700

Для того чтобы оценить темновую проводимость образцов до и после отжига (рис. 4), измерялись их вольт-амперные характеристики (ВАХ). Поскольку контакты из олова являются омическими как для SnS_2 , так и SnS [6, 7], то именно они осаждались на образцы при температуре подложки 373 К. Как видно из рис. 4, а, неотожженный образец показывает небольшое выпрямления тока, что свидетельствует о наличии электрических барьеров на переходе SnS_2 – электрический контакт (ITO или Sn).

Установлено, что электрическое сопротивление неотожженной пленки составляет $1,01 \times 10^5$ Ом·см. Данное значение соответствует значениям, приведенным в работе [7] для тонких пленок SnS_2 . По сравнению с неотожженной пленкой ВАХ образца S500-90 показывает линейное (омическое) поведение. Электрическое сопротивление пленки составляет $1,18 \times 10^3$ Ом·см. Такие значения также наблюдаются в тонких пленках SnS , полученных методом спрей-пиролиза [8]. Однако, пленки SnS , полученные методом термического испарения, демонстрируют более низкое электрическое сопротивление – 13...20 Ом·см [9].

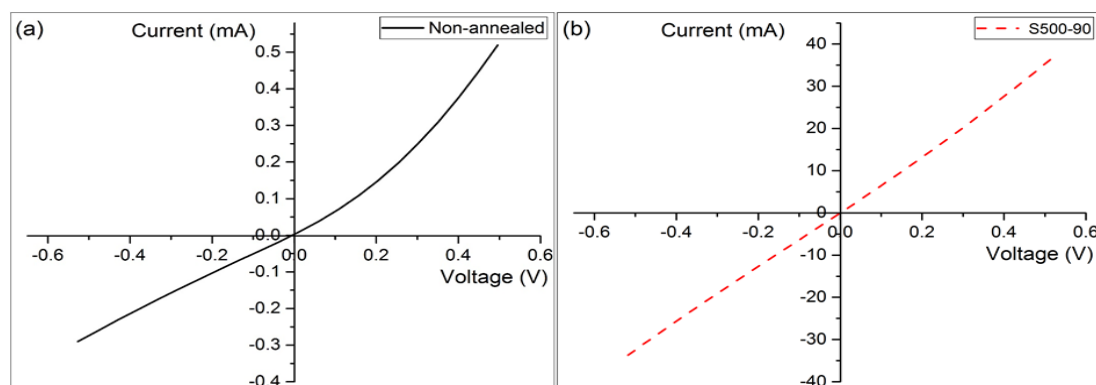


Рисунок 4 – ВАХ структур ITO / Sn_xS_y / Sn: неотожженный образец (а), образец S500-90 (б)

Таким образом, на основании полученных результатов исследования можно сделать следующие выводы:

- показано, что отжиг образцов при температурах ниже 400°C (S300-30, S300-60 и S300-90) не приводит к каким-либо существенным изменениям на дифрактограммах по сравнению с неотожженными пленками SnS_2 ;
- определено, что происходит термически индуцированный фазовый переход от гексагональной фазы SnS_2 к орторомбической SnS ;
- показано, что параметры решетки неотожженного образца – $a = 0,365$ нм и $c = 0,586$ нм; постоянные решетки образца S500-90 – $a = 0,430$ нм, $b = 1,117$ нм и $c = 0,398$ нм;
- установлено, что электрическое сопротивление неотожженной пленки составляет $1,01 \times 10^5$ Ом·см. Электрическое сопротивление пленки составляет $1,18 \times 10^3$ Ом·см.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Комитета Науки МОН РК по теме «Оптимизация структуры и фазового состава соединений Sn_xS_y и $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$ для пленочных солнечных элементов третьего поколения» по договору №104 от 5 марта 2018 года.

Список литературы

1. K. Tulasi, Thickness Effect on the Structural and Optical Properties of SnS_2 Films Grown by CBD Process / K. Tulasi, R. Reddy, G. Sreedevi, R.W. Miles // J. Mater. Sci. Eng. A. – 2013. – № 3. – P. 182-186.
2. B. Jang, S. Yeo, H. Kim, B. Shin, S.-H. Kim, Fabrication of single-phase SnS film by H_2 annealing of amorphous SnS_x prepared by atomic layer deposition // Journal of Vacuum Science & Technology A. 35 (3) (2017) 031506.
3. M. Patel, A. Ray, Evaluation of back contact in spray deposited SnS thin film solar cells by impedance analysis // ACS Appl Mater Interfaces. – 6 (13) (2014) 10099-106.
4. B. Thangaraju, P. Kaliannan, Spray pyrolytic deposition and characterization of SnS and SnS_2 thin films // Journal of Physics D: Applied Physics. – 33 (9) (2000) 1054.
5. S.A. Bashkurov, V.V. Lazenka, V.F. Gremenok, K. Bente, Microstructure of SnS Thin Films Obtained by Hot Wall Vacuum Deposition Method // Journal of Advanced Microscopy Research. – 6 (2) (2011) 153-158.
6. S.P. Zimin, E.S. Gorlachev, I.I. Amirov, V.V. Naumov, G.A. Dubov, V.F. Gremenok, S.A. Bashkurov, Investigations of nanocrystalline SnS films' surface morphology modification during inductively coupled argon plasma sputtering // Semiconductor Science and Technology. – 29 (1) (2014) 015009.
7. S. Cheng, Y. He, G. Chen, Structure and properties of SnS films prepared by electro-deposition in presence of EDTA // Materials Chemistry and Physics. – 110 (2) (2008) 449-453.
8. S.S. Hegde, A.G. Kunjomana, M. Prashantha, C. Kumar, K. Ramesh, Photovoltaic structures using thermally evaporated SnS and CdS thin films // Thin Solid Films. – 545 (2013) 543-547.
9. M.S. Selim, M.E. Gouda, M.G. El-Shaarawy, A.M. Salem, W.A. Abd El-Ghany, Effect of thickness on optical properties of thermally evaporated SnS films // Thin Solid Films. – 527 (2013) 164-169.

Получено 21.07.2020

МРНТИ 29.19

S.V. Plotnikov¹, N.K. Erdybaeva¹, S.A. Zhanyssov¹, O.V. Maksakova², A.D. Pogrebnyak²¹D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan²Sumy State University, Sumy, Ukraine**STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF MULTI-LAYER TiZrN / TiSiN COATINGS WITH NANOSCALE ARCHITECTURE**

In this work, we study two types of thin coatings (TiZr) N / (TiSi) N with the determination of their structural-phase states of characteristics for use as composite elements in obtaining the highest functional properties of coatings.

Бұл жұмыста біз жабындардың ең жоғары функционалдық асиеттерін алу кезінде композициялық элементтер ретінде пайдалану үшін сипаттамаларының құрылымдық-фазалық күйлерін анықтай отырып, жұқа жабындардың (TiZr) N / (TiSi) N екі түрін зерттейміз.

В данной работе мы исследуем два типа тонких покрытий (TiZr)N/(TiSi)N с определением их структурно-фазовых состояний характеристик для использования в качестве композиционных элементов при получении наиболее высоких функциональных свойств покрытий.

Key words: multilayer coatings, tribological characteristics, vacuum-arc evaporation, nitride films.

An abiding scientific interest in the multilayer coatings can be explained by the fact that such structures as a whole can demonstrate excellent physical-mechanical characteristics that are unusual for their individual constituents. This is confirmed by various studies, for instance, according to works [1-4] electrical, optical, mechanical, and tribological properties, as well as high-temperature oxidation resistance in multilayer systems are significantly higher compared to those in single-layer coatings. Multilayer structures also can demonstrate unique properties that are not inherent in their single-layer constituents.

Many multilayer systems with tuned size of grains and their quantity, thickness and composition of each layer, thickness ratio of layers, the structure of interfaces have been developed for practical applications [5-7]. It should be noted that the right choice of the constituent elements of the layers is an essential step towards the creation of multilayer coatings with high functional properties [8-12]. As transition metal nitrides can combine even three main types of bonding, they may possess high hardness and strength (covalent component), thermal, electrical conductivity, and ductility (metallic component), as well as chemical stability and inertness (ionic component).

Current advances in the deposition technologies indicate that multilayer coatings with different composition and excellent physical-mechanical and tribological properties can be produced using PVD and CVD methods [13-17]. Thus, there are many possibilities for modifying the characteristics of multilayer compositions, but the synthesis of the coating structure should be carried out with high accuracy [18, 19].

One of the most promising approaches to the design of coatings is combination of layers of two or more different materials [20]. One of the successful manifestations of this approach is the multilayer nitride coatings of transition metals. It is well known, that nitrogen with transition metals can form mixed ion-metal-covalent bonds, which contributes to the creation of a strong and hard material.

The coatings were applied by the method of cathodic-arc evaporation. Stainless steel 12X18H9T (SUS321 or 321S51 in other classification) was used for substrates. Substrates dimensions were 18×20×2 mm³. Prior to their introduction into the deposition chamber, the substrates were polished with diamond paste and cleaned by ethanol and acetone in ultrasonic bath. The TiZr and TiSi alloy targets with a diameter of 100 mm were used for the deposition. They were arranged in opposite sides of the vacuum chamber since such position prevents substantial intermixing of the metal vapor before arriving at the substrate. Steel substrates were attached to a rotational holder, which was centred perpendicular to the targets at a distance of 200 mm.

Before deposition, the chamber was initially evacuated to around 3.0·10⁻⁵ Pa using an oil-vapor pump backed by a rotary pump. Thereafter the chamber was filled with Ar to make the activation of the substrate, and then nitrogen of high purity (99.99 %) was injected into the chamber as a reactive gas to deposit nitride films. The main deposition parameters are presented in the Table 1. The negative bias potential U_b was maintained at – 200 V, while the nitrogen pressure P_N in the chamber was varied from 1.0·10⁻³ to 4.5·10⁻³ Torr.

Table 1

Parameters of deposition of multilayer (TiZr)N/(TiSi)N coatings

Sample	Arccurrent (A)	Coilfocus (A)	Biasvoltage (V)	Nitrogen pressure (Torr)	Depositiontime (Hour)	Layers	Interval (sec)
TiZrN/TiSiN №1	80-85	0,4	– 200	$4,5 \cdot 10^{-3}$	1	180	20
TiZrN/TiSiN №2				$1,0 \cdot 10^{-3}$		180	20
TiZrN/TiSiN №3				$4,5 \cdot 10^{-3}$		360	10
TiZrN/TiSiN №4				$4,5 \cdot 10^{-3}$		89	40

The crystal structure and phase composition of the films were studied by X-Ray Diffraction method (XRD) using Cu-K α irradiation operated at 40 kV and 35 mA. The range of $\theta/2\theta$ scan was 10°–80°. The scan rate was 2°/min with a step size of 0.02°. The preferred orientation Analysis of diffraction patterns was done using «HighScore Plus» specialized software. The grain size of the coatings was calculated from XRD diffraction patterns using Debai-Sherrer formula:

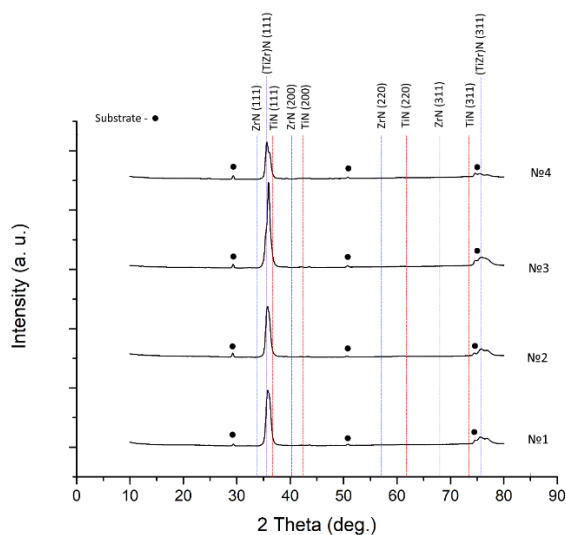
$$d = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

where d – mean size of crystallites, K – dimensionless coefficient (Sherrer constant), λ – X-ray irradiation wavelength, β – peak width on the half-height, θ – Bragg angle.

The cross-sectional and surface topographies were studied by scanning electron microscopy unit JSM-6510 (JEOL). Acceleration voltage was 20 kV, and microimages were obtained in backscattering mode (BSE) at $\times 800$ magnification. The qualitative and quantitative analysis of the chemical composition in the microareas of the investigated multilayers was carried out using the X-ray energy dispersive spectroscopy (EDS) with the application of the spectrometer JED-2300 with an Oxford X-max (80 mm² silicon drift detector) being a component of the electron scanning microscope JSM-6510. The research was carried out with the accelerating voltage of 20 kV.

Elemental composition along the depth of the produced coatings was studied by Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS) using O₂⁺ ion beams with 5 keV and 2 keV energy. In addition, oxygen was added inside the chamber to receive pressure $1.0 \cdot 10^{-6}$ Torr. “Hidden” SIMS work station was equipped by ion gun IG20 and quadrupole 9 mm mass-analyzer Maxim HAL7. Prior to main SIMS measurements several mass-spectra from Samples 1 and 2 were registered for equipment tuning.

Results of XRD studies of the multilayered coatings are presented in Fig. 1.

*Figure 1 – XRD patterns of multilayer TiZrN/TiSiN composite coatings*

The crystallographic structure of the multilayer TiZrN/TiSiN composite coatings is studied by XRD patterns presented in Figure 1. As can be seen, the peaks of two different phases are identified in multilayer coatings. Stable (TiZr)N phase is predominant, and it is characterized by a high level of crystallinity and (111) strongly preferred orientation. The peak position scattered from (111) plane is slightly shifted to a higher angle (from ZrN to TiN peak) since the decreased concentration of Zr then Ti. This shift suggests that the lattice volume expansion of the TiN lattice does not occur through the substitution by Zr atoms, even though Zr has the larger atomic radius than Ti ($Zr \sim 1.7 \text{ \AA}$; $Ti \sim 1.5 \text{ \AA}$). The broadening of the shoulder of TiZrN peak contains the TiN phase with a preferred orientation of (111), which slightly separates for sample № 4. No peaks of crystalline Si_3N_4 are detected on patterns. For this reason, we can suggest that SiN phase in TiSiN layers might be amorphous, where Ti grains are embedded in the amorphous SiN_x matrix.

The grain size of the coatings calculated based on (111) TiZrN peak broadening is 9.2 nm for the sample No 1, 9.9 nm for the sample No 2, 10.9 nm for the sample №3 and 11.6 nm for the sample № 4. In general, one can see, that grain sizes depend on bilayer period very weakly since varying in the range 9–11 nm, taking into account possible measurement errors.

Typical surface morphology of the multilayer TiZrN/TiSiN coatings is presented in Figure 2a. One can see that surface is not smooth and droplet fractions are quite common. We should point, that existence of droplets is quite typical for coatings, deposited by vacuum-arc evaporation from non-separated plasma fluxes [21]. In fact, the generation and ejection of melt metal droplets are one of the consequences of the vaporization of neutrons and electrons emission from the cathode. Therefore, the size, density and number of the drop-particles are most commonly depend upon both cathode material parameters (current density, melting point) and deposition conditions (nitrogen gas pressure, bias voltage). Size of droplets lays in the range 1–10 μm . Some craters appeared after collisions of droplets and growing coating can be observed on the surface.

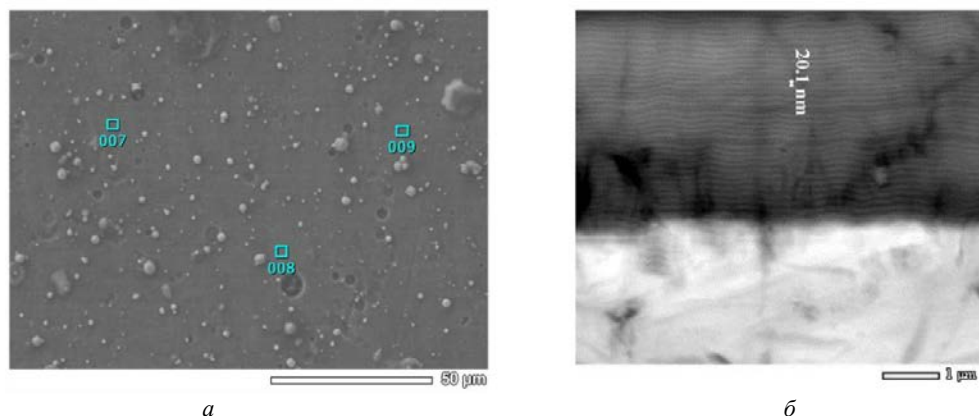


Figure 2 – Top-view (a) and cross sectional view (b) of multilayer TiZrN/TiSiN composite coating sample №3

The cross-section view of multilayer TiZrN/TiSiN composite coating is shown in Figure 2, b. As can be seen, image affirms the layer by layer architecture of the produced coating and also the formation of the diffusion at the substrate-coating region caused by argon pretreatment [22]. It is obvious that all of the adjacent layers have a high level of adhesion together and also to the steel substrate as no separation can be found. This phenomenon is observed whatever the deposition parameters of the examined coatings. It is worthwhile to point that changes of nitrogen pressure do not make a significant influence on droplet fractions agglomeration while decreasing bilayer thickness leads to decreasing of size of droplet fractions on 10–20 %. However, increasing of bilayer thickness leads to the forming of large local areas with defects and craters.

EDS studies were done from individual areas of each sample, and the appropriate areas were marked on SEM microimage (see Figure 2, a). Chemical composition is almost equal for each studied area. EDS

results prove the presence of titanium, nitrogen, zirconium and silicon as the main elements of experimental coatings with the mean atomic concentration presented in Table 2.

Table 2

Results of EDS studies of multilayer TiZrN/TiSiN composite coatings (in at.%)

Element	Sample №			
	1	2	3	4
N	52,19	48,96	50,68	54,95
Ti	43,02	45,81	44,16	39,75
Zr	4,23	4,43	4,42	4,44
Si	0,56	0,78	0,82	0,86

The atomic concentration of Si in chemical composition of experimental coatings is slightly decreased compared with TiSi alloys target. The Si loss is related to the re-sputtering effect. Actually, silicon with the lower atomic mass undergoes higher scattering in the collision with nitrogen, which leads to a lower volume density of Si in the vapor.

To compare the atomic changes, the SIMS depth profiling was done on experimental coatings. Ions with masses 14 ($^{14}\text{N}^+$), 27 ($^{27}\text{Al}^+$), 28 ($^{28}\text{Si}^+$), 50 ($^{50}\text{Ti}^+$), 56 ($^{28}\text{Si}^{2+}$, $^{56}\text{Fe}^+$) and 92 ($^{92}\text{Zr}^+$) were taken for this analysis. First profile was taken from the multilayer sample № 2 using relatively high primary O_2^+ ions current with 5 keV energy (see Figure 3).

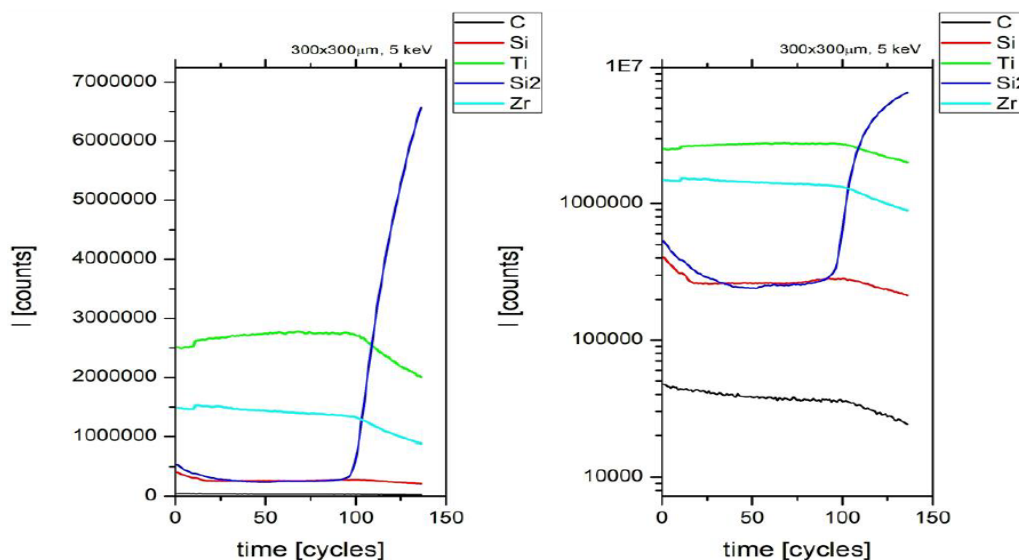


Figure 3 – SIMS depth profile analysis of multilayer TiZrN/TiSiN composite coating sample № 2 (primary beam energy was 5 keV)

Crater had a size of $200 \times 200 \mu\text{m}$, and resulting current density was $1.3 \cdot 10^{-3} \text{ A/cm}^2$. Such conditions allowed reaching the stainless steel substrate in round one hour of experiment. In according to SIMS data one can see, that clear periodicity for layers is not observed, mainly due to the fact that Ti layers can dissolve in Si_2 layers. The slope line corresponding to the concentration of Zr atoms is more decreased than for Ti and originates from the substitution of Zr atoms to Ti atoms in the TiN lattice. This regime causes the substrate element C to appear at SIMS profiles of the multilayer coating. The concentration of carbon is observed at a certain intensity and indicates the interface region between substrate and coating. Besides, high primary beam energy of 5 keV elevates the slope of the concentration of Si atoms at cycles range 100-150.

Much smaller O_2^+ ion current (67 nA) with smaller energy (2 keV) was used for next SIMS experiments (see Figure 4).

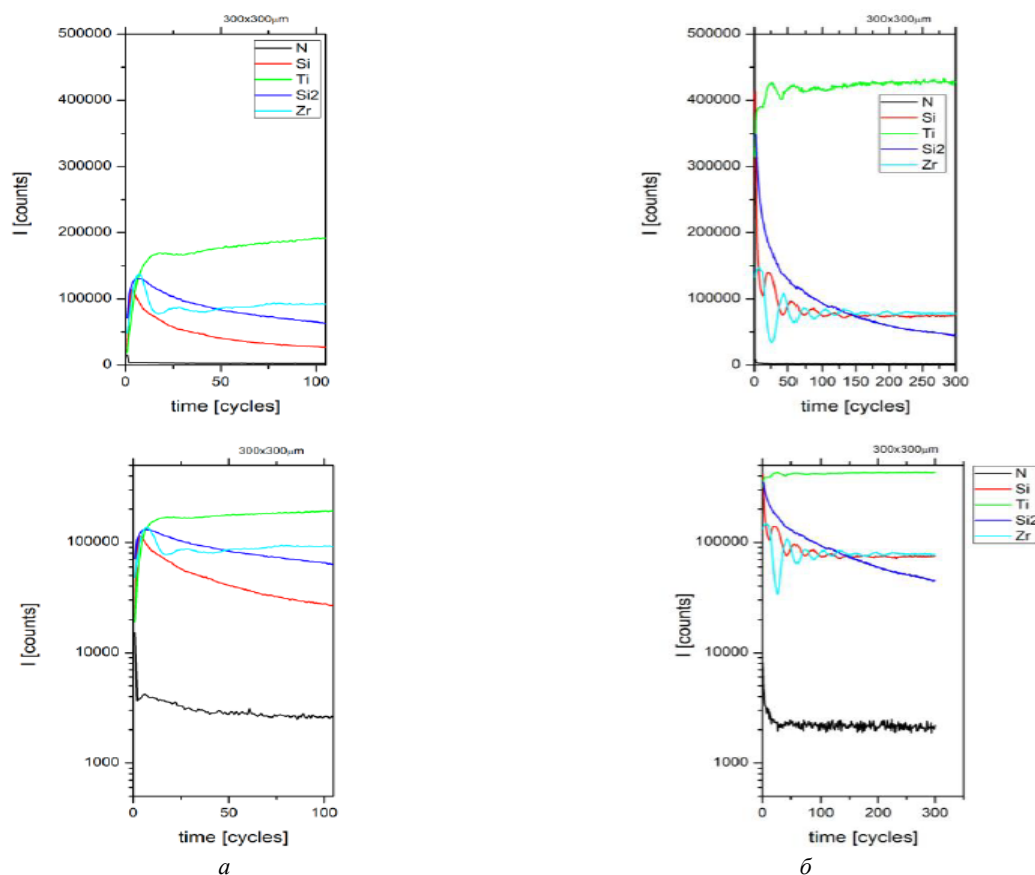


Figure 4 – SIMS depth profile analysis of multilayer TiZrN/TiSiN composite coating sample №2 (primary beam energy was 2 keV)

In this case we received craters of the size 300x300 μm and 500x500 μm . The lowering of high primary beam energy to 2 keV enables observing the reciprocal oscillations of concentration slopes from Zr and Si atoms at cycles range 0-150 that proved the periodicity of the composite coating.

Conclusion. Multilayer TiZrN/TiSiN composite coatings have been successfully prepared using TiZr and TiSi alloy targets by the cathodic-arc evaporation method. The microstructural analysis revealed the formation of a nanocomposite structure, consisting of TiZrN nanocrystallites with the average size of 9-11 nm. The crystalline Si_3N_4 phase was not identified that suggested the silicon is present in an amorphous phase of silicon nitride or silicon. TiN nanocrystallites are embedded in an amorphous SiN_x matrix. The SEM observations revealed the multilayer structure with strict chemical composition. Sputtering of argon ions on the substrates before deposition increased the adhesion strength, hence, positively influencing the mechanical parameters.

List of used sources

1. Stueber, M.; Holleck, H.; Leiste, H.; Seemann, K.; Ulrich, S.; Ziebert, C. Concepts for the Design of Advanced Nanoscale PVD Multilayer Protective Thin Films. 14th Int. Symp. Metastable Nano-Mater. ISMANAM-2007. – P. 321-333.
2. Bull, S. J.; Jones, A. M. Multilayer Coatings for Improved Performance. Surf. Coat. Technol. –1996. – 78 (1). – P. 173-184.

3. Sakakima, H.; Osano, K.; Ihara, K.; Satomi, M. Multilayered Films of Nitride Alloys as Magnetic Head Materials. *J. Magn. Magn. Mater.* – 1991. – 93. – P. 349-355.
4. Wadsworth, I.; Smith, I. J.; Donohue, L. A.; Münz, W.-D. Thermal Stability and Oxidation Resistance of TiAlN/CrN Multilayer Coatings. *24th Int. Conf. Metall. Coat. Thin Films 1997.* – 94–95. – P. 315-321.
5. Tjong, S. C.; Chen, H. Nanocrystalline Materials and Coatings. *Mater. Sci. Eng. R Rep.* – 2004. – 45 (1). – P. 1-88.
6. Inspektor, A.; Salvador, P. A. Architecture of PVD Coatings for Metalcutting Applications: A Review. *Surf. Coat. Technol.* – 2014. – 257. – P. 138-153.
7. Bagdasaryan, A.A.; Pshyk, A.V.; Coy, L.E.; Kempinski, M.; Pogrebnyak, A.D.; Beresnev, V.M.; Jurga, S. Structural and Mechanical Characterization of (TiZrNbHfTa)N/WN Multilayered Nitride Coatings. *Mater. Lett.* – 2018. – 229. – P. 364-367.
8. Chauhan, A.; Vaish, R. Hard Coating Material Selection Using Multi-Criteria Decision Making. *Mater. Des.* 2013. – 44. – P. 240-245.
9. Kravchenko, Y.O.; Coy, L.E.; Peplińska, B.; Iatsunskyi, I.; Załęski, K.; Kempinski, M.; Beresnev, V.M.; Konarski, P.; Jurga, S.; Pogrebnyak, A.D. Nano-Multilayered Coatings of (TiAlSiY)N/MeN (Me=Mo, Cr and Zr): Influence of Composition of the Alternating Layer on Their Structural and Mechanical Properties. *J. Alloys Compd.* – 2018. – 767. – P. 483-495.
10. Pogrebnyak, A. D.; Bondar, O. V.; Abadias, G.; Ivashchenko, V.; Sobol, O. V.; Jurga, S.; Coy, E. Structural and Mechanical Properties of NbN and Nb-Si-N Films: Experiment and Molecular Dynamics Simulations. *Ceram. Int.* 2016, 42 (10). – 11743–11756.
11. Pogrebnyak, A. D.; Bagdasaryan, A. A.; Beresnev, V. M.; Nyemchenko, U. S.; Ivashchenko, V. I.; Kravchenko, Y. O.; Shaimardanov, Z. K.; Plotnikov, S. V.; Maksakova, O. The Effects of Cr and Si Additions and Deposition Conditions on the Structure and Properties of the (Zr-Ti-Nb)N Coatings. *Ceram. Int.* – 2017. – 43. – P. 771-782.
12. Macias, H.A.; Yate, L.; Coy, L. E.; Olaya, J.J.; Aperador, W. Effect of Nitrogen Flow Ratio on Microstructure, Mechanical and Tribological Properties of TiWSiNx Thin Film Deposited by Magnetron Co-Sputtering. *Appl. Surf. Sci.* – 2018. – 456. – P. 445-456.
13. Zhou, Y.; Asaki, R.; Soe, W.-H.; Yamamoto, R.; Chen, R.; Iwabuchi, A. Hardness Anomaly, Plastic Deformation Work and Fretting Wear Properties of Polycrystalline TiN/CrN Multilayers. *Wear* 1999. – 236 (1). – P. 159-164.
14. Yashar, P.C.; Sproul, W.D. Nanometer Scale Multilayered Hard Coatings. *Vacuum.* – 1999. – 55 (3). – P. 179-190.
15. Vieira, M.T.; Ramos, A.S. The Influence of Ductile Interlayers on the Mechanical Performance of Tungsten Nitride Coatings. *J. Mater. Process. Technol.* – 1999. – 92-93. – P. 156-161.
16. Berger, M.; Wiklund, U.; Eriksson, M.; Engqvist, H.; Jacobson, S. The Multilayer Effect in Abrasion – Optimising the Combination of Hard and Tough Phases. *Surf. Coat. Technol.* – 1999. – P. 116-119. – 1138-1144.
17. Maksakova, O.V.; Simões, S.; Pogrebnyak, A.D.; Bondar, O.V.; Kravchenko, Y.O.; Koltunowicz, T.N.; Shaimardanov, Z.K. Multilayered ZrN/CrN Coatings with Enhanced Thermal and Mechanical Properties. *J. Alloys Compd.* – 2019. – 776. – P. 679-690.
18. Mattox, D.M. Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing, 2nd ed.; Elsevier Inc., 2010.
19. Singh, J.; Wolfe, D. E. Nanostructured Component Fabrication by Electron Beam-Physical Vapor Deposition. *J. Mater. Eng. Perform.* – 2005. – 14 (4). – P. 448-459.
20. D.D. Kumar, N. Kumar, S. Kalaiselvam, S. Dash, R. Jayavel, Wear resistant superhard multilayer transition metal-nitride coatings, *Surfaces Interfaces.* – 7 (2017). – P. 74-82.
21. Pogrebnyak, A.D., Bagdasaryan, A.A., Pshyk, A., Dyadyura, K., Adaptive multicomponent nanocomposite coatings in surface engineering. *Physics-Uspekhi.* 2017. *UspekhiFizicheskikh-Nauk*, number 6. – P. 125-129.
22. Martin, P.M., Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings, 2009.

Получено 21.07.2020

МРНТИ 29.19.14, 29.19.21

А.В. Русакова¹, А.М. Жилкашинова², М.Т. Касымканова¹, Ә.Б. Акбасова¹¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск,²Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ПРОЦЕССЫ РАДИАЦИОННОГО ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ
В КОМПОЗИТНЫХ НАНОСТРУКТУРНЫХ МАТЕРИАЛАХ**

В статье представлены результаты исследования влияния облучения электронными пучками на структурные и морфологические свойства поликристаллических наноструктур. Показано, что с увеличением дозы облучения происходит перестройка кристаллической структуры нанотрубок. Облучение потоком электронов позволяет модифицировать кристаллическую структуру нанотрубок, проводить электронный отжиг дефектов, который не разрушает наноструктур, увеличивая проводимость нанотрубок. Применение электронного облучения с энергиями менее 500 кэВ позволяет проводить контролируемый отжиг дефектов нанотрубок, что приводит к улучшению проводящих свойств за счет снижения сопротивления.

Мақалада электронды-сәулелік сәулеленудің поликристалды наноқұрылымдардың құрылымдық және морфологиялық қасиеттеріне әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Сәулелену мөлшерінің жоғарылауымен нанотүтікшелердің кристалды құрылымы қайта реттелетіні көрсетілген. Электронды ағынмен сәулелендіру нанотүтікшелердің кристалды құрылымын өзгертуге, наноқұрылымдардың бұзылуына әкелмейтін, нанотүтікшелердің өткізгіштігін арттырмайтын ақауларды электронды тазартуға мүмкіндік береді. 500 кВ-тан аз энергиямен электронды сәуле қолдану нанотүтікшелі ақаулардың бақыланатын тазартылуына мүмкіндік береді, бұл қарсылықтың төмендеуіне байланысты өткізгіш қасиеттерінің жақсаруына әкеледі.

The paper presents the results of a study of the effect of electron beam irradiation on the structural and morphological properties of polycrystalline nanostructures. It is shown that with an increase in the radiation dose, the crystal structure of nanotubes undergoes rearrangement. Irradiation with an electron flux allows you to modify the crystal structure of nanotubes, to conduct electronic annealing of defects, which does not destroy nanostructures, increasing the conductivity of nanotubes. The use of electron irradiation with energies less than 500 keV allows for controlled annealing of nanotube defects, which leads to an improvement in the conductive properties due to a decrease in resistance.

Ключевые слова: наноструктуры, наночастицы, радиационные дефекты, электронное облучение, кристаллическая структура.

Введение. Для определения лимитирующих факторов, позволяющих устройствам работать в экстремальных условиях, необходимо понимать, какое влияние оказывает ионизирующее излучение на структуру и электрические свойства элементов, влияющих на производительность и стабильность работы устройства. Облучение различных видов материалов пучками высокоэнергетичных ионов является высокоэффективным способом контролируемой модификации структурных, оптических и электрических свойств в современном материаловедении [1, 2]. Облучение твердых наноразмерных тел значительно повышает количество атомных дефектов в структуре: когда энергетические частицы (электроны, тяжелые ионы или нейтроны) проникают в твердое тело, они переносят свою энергию встречным атомам вдоль траектории своего движения в большинстве случаев за счет многочисленных процессов ионизации, электронной экситации, а также смещения атомов с первоначальных позиций. Потеря энергии электронов является главным механизмом в случае облучения пучком ускоренных ионов с высокой энергией [3,4]. Локальные повреждения, вызванные переносом энергии материалу, и последующая релаксация системы определяют область модификации исследуемого материала, при этом путем варьирования условий облучения (энергия, флюенс, тип ионов, используемых для облучения) можно направленно модифицировать свойства наноразмерных материалов [5,6]. В результате облучения создается каскад точечных дефектов, а также скопление данных дефектов, которые способны деформировать кристаллическую решетку наноструктур. В свою очередь, изменение структурных свойств может существенно изменить устойчивость к коррозии и деградации наноструктурных материалов. В связи с чем представляет определенный интерес изучение влияния применения ионизирующего излучения для направленной модификации на устойчивость наноструктур к деградации.

Важным аспектом исследований является изучение взаимодействия ионизирующего излучения с наноразмерными объектами, что позволяет не только определить лимитирующие факторы использования наноструктур в условиях экстремальных воздействий, но и придать наноматериалам новые свойства.

Материалы и методы эксперимента. Синтез Zn нанотрубок проводился в порах трековых мембран на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ) толщиной 12 мкм с плотностью пор $4 \times 10^7 \text{ см}^{-2}$ и диаметром 400 нм. Активирование связей COOH, образующихся на поверхности стенок пор в результате химического травления треков, проводилось при УФ-сенсibilизации ПЭТФ-шаблонов. Эта процедура позволяла создавать на стенках пор локализованные заряженные состояния, которые способствовали получению трубчатой формы на этапе электрохимического осаждения.

Облучение наноструктур было проведено на электронном ускорителе ТЭУ-500 (г. Томск). Основные параметры импульсного электронного ускорителя ТЭУ-500: ускоряющее напряжение – до 500 кВ, длительность импульса тока – 100 нс, выведенный ток электронного пучка – 4 кА, плотность тока пучка на мишени – 50 А/см², энергия в пучке – 100 Дж. Поглощенная доза в образцах составила порядка 12 кГр за импульс. Варьировалось количество импульсов: 5, 9, 12, 15, 18 импульсов. Частота следования импульсов – 0,3 имп./с. Максимальное количество импульсов было определено изменением прочностных свойств матриц при данной частоте следования импульсов: при более 20 импульсах образцы становились хрупкими. Обработка образцов производилась в атмосфере воздуха.

Электрохимическое осаждение в треки шаблонной матрицы проводилось при разности потенциалов 1,75 В в потенциостатическом режиме. Состав электролита для получения Zn нанотрубок: ZnSO₄·7H₂O – 360 г/л; NH₄Cl – 30 г/л; 3H₂O·CH₃COONa – 15 г/л; аскорбиновая кислота – 120 г/л.

Структуру и характеристические размеры синтезированных нанотрубок исследовали методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) в микроскопе Hitachi TM3030 с системой энергодисперсионного анализа (ЭДА) Bruker XFlash MIN SVE при ускоряющем напряжении 15 кВ. Рентгеноструктурный анализ (РСА) проводили на дифрактометре D8 ADVANCE ECO с использованием рентгеновской трубки с медным анодом и графитового монохроматора. Дифрактограммы записывали в диапазоне углов 2θ 30°–110° с шагом 0,01°. Для идентификации фаз и исследования кристаллической структуры использовалось программное обеспечение Bruker AXSDIFFRAC.EVA v.4.2 и международная база данных ICDD PDF-2.

Для изучения морфологии синтезированных нанотрубок была применена растровая электронная микроскопия. Перед проведением исследования образцы освобождались от полимерной матрицы путем растворения полимера в растворе 9,0 М NaOH при температуре 60°C в течение 1 часа. Для удаления остатков полимера после растворения образцы промывались в растворах уксусной кислоты и деонизированной воды в ультразвуковой ванне в течение 5 мин, процедура промывки повторялась 3 раза. Для исследования поверхности образца использовался электронный пучок с энергией электронов 2,0 кэВ в режиме сканирования LEI.

Модификация свойств синтезированных нанотрубок проводилась на линейном ускорителе ЭЛВ-4 (г. Курчатов, Казахстан) путем облучения потоком электронов с энергиями 5 МэВ, дозы облучения 50 – 200 кГр с шагом 50 кГр.

Для получения наноструктур на основе Zn был применен метод электрохимического осаждения в поры шаблонных матриц с заданной геометрией [7].

Результаты и обсуждение. Результаты расчетов среднего размера кристаллитов и изменения атомного соотношения в структуре нанотрубок представлены в табл. 1. Как видно из представленных данных облучение электронным пучком приводит к снижению степени кристалличности с 95 % до 83 % для образцов облученных дозами выше 100 кГр. Снижение степени кристалличности обусловлено появлением оксидных соединений.

Таблица 1

Результаты РСА и ЭДА

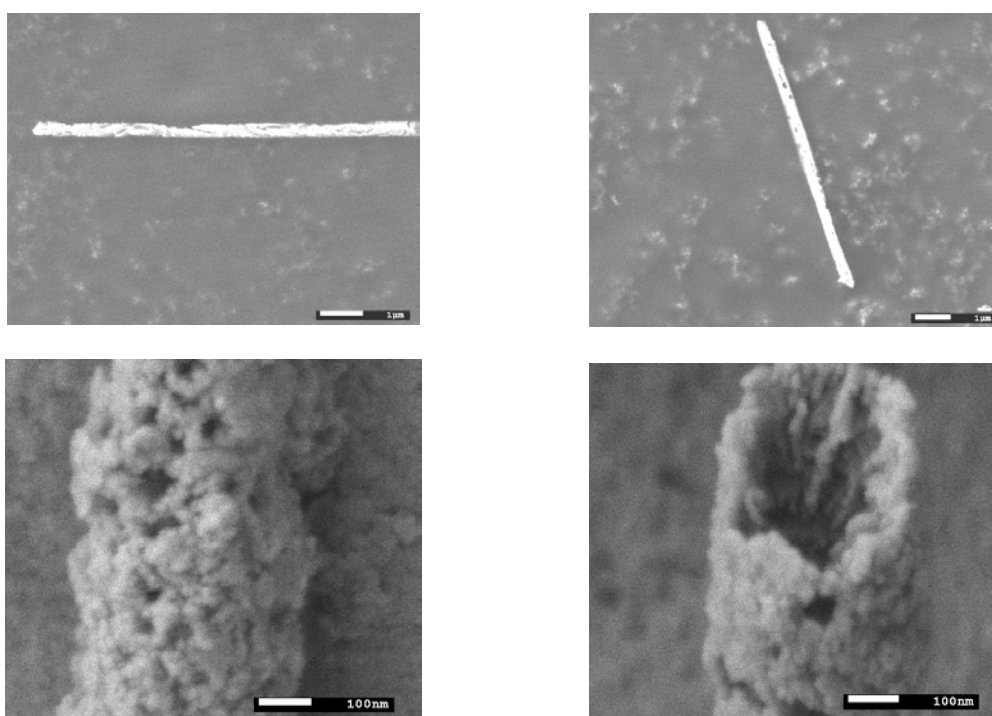
Доза облучения, кГр	Атомное соотношение	Размер кристаллитов, нм	Степень кристалличности, %
Исходный	Zn ₁₀₀	16,22	95

Окончание таблицы 1

Доза облучения, кГр	Атомное соотношение	Размер кристаллитов, нм	Степень кристалличности, %
50	$Zn_{96}O_4$	15,76	87
100	$Zn_{90}O_{10}$	15,32	84
150	$Zn_{88}O_{12}$	15,13	83
200	$Zn_{88}O_{12}$	15,09	83

Анализ дифрактограмм указывает на поликристаллическую структуру исследуемых образцов, которые обладают гексагонально-примитивной структурой с параметрами кристаллической решетки $a = 2,6638 \pm 0,0006 \text{ \AA}$ и $c = 4,9337 \pm 0,0045 \text{ \AA}$ для исходного образца, которые отличаются от эталонных значений. При этом в процессе облучения величина параметра a увеличивается: $a = 2,6647 \pm 0,0003 \text{ \AA}$ при дозе 50 кГр и $a = 2,6660 \pm 0,0005 \text{ \AA}$ при дозе 100 кГр, в то время как значение параметра c уменьшается и равно $4,9270 \pm 0,0015 \text{ \AA}$ и $4,9152 \pm 0,0035 \text{ \AA}$ для доз 50 кГр и 100 кГр соответственно, тем самым наблюдается изменение межплоскостных расстояний между атомами кристаллической решетки нанотрубок. При увеличении дозы облучения выше 100 кГр изменение параметров кристаллической решетки незначительно: $a = 2,6661 \pm 0,0003 \text{ \AA}$ при дозе 150 кГр и $2,6662 \pm 0,0005 \text{ \AA}$ при дозах 200 и 250 кГр, $c = 4,9150 \pm 0,0015 \text{ \AA}$, $4,9148 \pm 0,0035 \text{ \AA}$ и $4,9151 \pm 0,0012 \text{ \AA}$ при дозах 150, 200 и 250 кГр соответственно.

Использование электронов с энергией менее 500 кэВ позволяет проводить отжиг дефектов в кристаллической структуре, что способствует улучшению проводимости и снижению сопротивления. Одной из особенностей электрохимического синтеза является возможность управления свойствами синтезируемых наноструктур благодаря использованию пор с заданной геометрией. Результаты аморфизации при больших дозах облучения, приведших к частичному разрушению нанотрубок, представлены на рис. 1.



150 кГр

200 кГр

Рисунок 1 – РЭМ изображения нанотрубок при дозах 150 и 200 кГр

Как видно из представленных РЭМ-изображений, при больших дозах облучения наблюдается деградация поверхности нанотрубок за счет трещин и пористых образований, которые приводят к аморфизации кристаллической структуры и снижению проводящих свойств.

Для уточнения влияния облучения электронами на структурные свойства был проведен рентгеноструктурный анализ полученных образцов до и после облучения (рис. 2).

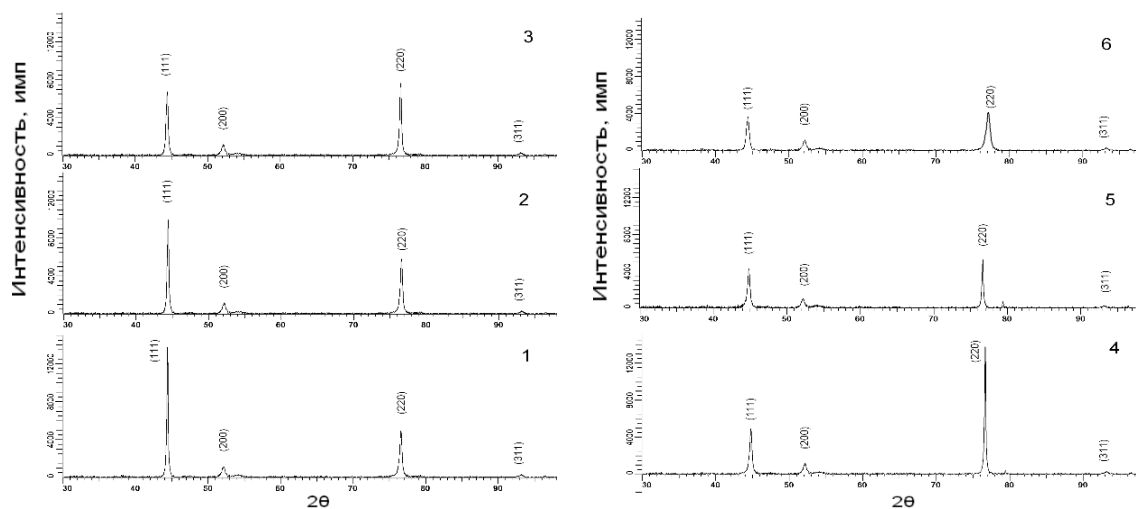


Рисунок 2 – Рентгеновские дифрактограммы Ni нанотрубок: до и после облучения:
1 – исходный; 2 – 50 кГр; 3 – 100 кГр; 4 – 120 кГр; 5 – 150 кГр; 6 – 200 кГр

В табл. 2 представлены данные рентгеноструктурного анализа, полученные в результате обработки рентгеновских дифрактограмм, анализ которых позволил установить, что полученные образцы обладают поликристаллической структурой с гранецентрированной кубической (ГЦК) фазой и параметром элементарной ячейки отличным от эталонного значения. Расчет параметра кристаллической решетки проводился с использованием экстраполяционной функции Нельсона-Тейлора. Размеры кристаллитов были рассчитаны согласно уравнению Шерера [8].

Таблица 2

Данные рентгеноструктурного анализа

Доза облучения, кГр	Параметры ячейки образца, Å	Размер ОКР, нм	Степень кристалличности, %
Исходный	Фаза ГЦК-Ni: $a = (3,5237 \pm 0,0005)$	25,98	86,53
50 кГр	Фаза ГЦК-Ni: $a = (3,5217 \pm 0,0005)$	18,42	91,42
100 кГр	Фаза ГЦК-Ni: $a = (3,5207 \pm 0,0004) \text{ Å}$	17,41	95,21
120 кГр	Фаза ГЦК-Ni: $a = (3,5195 \pm 0,0008) \text{ Å}$	16,84	96,42
150 кГр	Фаза ГЦК-Ni: $a = (3,5310 \pm 0,0005) \text{ Å}$	20,14	79,32
200 кГр	Фаза ГЦК-Ni: $a = (3,5344 \pm 0,0005) \text{ Å}$	35,15	64,13

Из представленных в табл. 2 данных видно, что при дозах от 50 до 120 кГр наблюдается резкое изменение параметра a , что свидетельствует об увеличении тепловых колебаний решетки в результате локального термического нагрева наноструктур, а также перестройки текстурных плоскостей (111) и (200), с увеличением вклада интенсивности пика с индексами Миллера (200), что свидетельствует об изменении текстуры образцов. Анализ результатов изменения среднего размера кристаллитов является прямым подтверждением высказанного выше предположения о влиянии электронного облучения на изменения кристаллической структуры нанотрубок. При дозах 120 кГр и ниже наблюдается электронный отжиг дефектов, в результате которого происходит уменьшение среднего размера кристаллитов. При дозах выше 120 кГр наблюдается резкое увеличение среднего размера кристаллитов, что связано с деструкцией нанотрубок в результате неконтролируемой аморфизации нанотрубок.

Выводы. Были проведены исследования влияния облучения электронными пучками на структурные и морфологические свойства поликристаллических наноструктур. В результате облучения потоком высокоэнергетических электронов с энергией 5 МэВ наблюдается изменение кристаллической решетки, что говорит об электронном отжиге дефектов. С увеличением дозы облучения происходит перестройка кристаллической структуры нанотрубок. Количество дефектов напрямую влияет на проводящие свойства исследуемых нанотрубок. Облучение потоком электронов позволяет модифицировать кристаллическую структуру нанотрубок, проводить электронный отжиг дефектов, который не разрушает наноструктуру, увеличивая проводимость нанотрубок. Применение электронного облучения с энергиями менее 500 кэВ позволяет проводить контролируемый отжиг дефектов нанотрубок, что приводит к улучшению проводящих свойств за счет снижения сопротивления. Однако при больших дозах облучения наблюдается деструкция образцов, вызванная локальным термическим нагревом кристаллической структуры и последующей неконтролируемой аморфизацией нанотрубок, приводящей к частичному разрушению поверхности.

Список литературы

1. Zhu G.H. et al. Increased phonon scattering by nanograins and point defects in nanostructured silicon with a low concentration of germanium // Physical review letters. – 2009. – Vol. 102. – №. 19. – P. 196803.
2. Simon P., Gogotsi Y. Materials for electrochemical capacitors // Nature materials. – 2008. – Vol. 7. – №. 11. – P. 845.
3. Gao M. R. et al. Nanostructured metal chalcogenides: synthesis, modification, and applications in energy conversion and storage devices // Chemical Society Reviews. – 2013. – Vol. 42. – №. 7. – P. 2986-3017.
4. Chen J., Cheng F. Combination of lightweight elements and nanostructured materials for batteries // Accounts of chemical research. – 2009. – Vol. 42. – №. 6. – P. 713-723.
5. Schmidt-Mende L., MacManus-Driscoll J. L. ZnO-nanostructures, defects, and devices // Materials today. – 2007. – Vol. 10. – №. 5. – P. 40-48.
6. Bang J.H., Suslick K.S. Applications of ultrasound to the synthesis of nanostructured materials // Advanced materials. – 2010. – Vol. 22. – №. 10. – P. 1039-1059.
7. Arico A.S. et al. Nanostructured materials for advanced energy conversion and storage devices // Nature materials. – 2005. – Vol. 4. – №. 5. – P. 366.
8. Жмуркин С.Ю., Аверин И.А., Пронин И.А., Карманов А.А. Методика расчета размеров областей когерентного рассеяния в материалах с сильной деформацией кристаллической решетки // Вестник Пензенского государственного университета. – № 3(17). – 2017. – 55-60.

Получено 21.07.2020

МРНТИ 55.69.29

Е.В. Рыжкова, Б.Н. Азаматов, Ж.К. Азаматова, А.Б. Болатова

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

**СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВОЗДУШНО-ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ
ПРИ НАЛИЧИИ КРИВОЛИНЕЙНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

В данной статье рассматривается применение программной среды Arduino IDE для регулирования расстояний между плазматроном и обрабатываемым материалом. Применение программируемого микроконтроллера позволяет исключить короткое замыкание при приближении плазматрона к поверхности материала и исчезновение электрической дуги при удалении от поверхности материала.

Бұл мақалада плазматрон мен өңделетін материал арасындағы қашықтықты реттеу үшін Arduino IDE бағдарламалық ортасын қолдану қарастырылады. Микроконтроллерді қолдану плазматронның материал бетіне жақындағанда қысқа тұйықталуын және материал бетінен алыстағанда электр доғасының жоғалуын болдырмауға мүмкіндік береді.

This article discusses the use of the Arduino IDE software environment to control the distance between the plasmatron and the processed material. The use of a programmable microcontroller allows you to exclude a short circuit with approximations of the plasma torch to the surface of the material and the extinction of the electric arc at distances from the surface of the material.

Ключевые слова: технология резки металлов, высокоточные изделия, машиностроение, воздушно-плазменная резка.

Введение. Воздушно-плазменная резка все больше обширно используется в разнообразных областях промышленности, что обуславливается возможностью ее использования для резки как цветных металлов и их сплавов, так и черных, высокой производительностью и точностью, отсутствием грат на краях деталей, и необходимости использования дефицитного карбида кальция [1].

Актуальность данной статьи обусловлена тем, что была проанализирована автоматизация одного из ключевых производственных процессов материалобработки, а также рассмотрена и спроектирована система автоматического регулирования воздушно-плазменной резки при криволинейной поверхности обрабатываемого материала. Применение существующего оборудования не целесообразно с экономической точки зрения, в связи с этим был предложен другой подход и метод автоматизаций, который уже внедрен непосредственно в производственный участок и имеет значительные отличия от имеющихся аналогов как по цене, так и по принципу работы [2], [3].

Научная новизна, заключается в том, что применяется программа, позволяющая управлять расстоянием между плазматроном и обрабатываемой поверхностью для проведения точной резки металлов.

Теоритическая часть. В теоретической части рассматривается применение платы Arduino, где все периферийные устройства подключаются и обмениваются данными посредством так называемых портов. Существует два режима их конфигураций: 1 – порты применются в качестве входов, при этом происходит считывание как аналоговых, так и цифровых сигналов, 2 – в качестве выходов, в данном случае порты могут выдавать цифровые дискретные сигналы и ШИМ сигналы. Приемлемый ток протекания на выходах составляет порядка 20 мА и не больше 40 мА при импульсном режиме. Также стоит отметить, что некоторые порты платы обладают дополнительными функциями, к примеру:

- порты 0 и 1 могут применяться в качестве выводов многопользовательского асинхронного приема/передатчика и обозначаются на плате как Rx (receiver) и Tx (transmitter) [4];

- порты с нумерацией с 10 по 13 обеспечивают обмен и передачу данных по последовательному периферийному интерфейсу. На плате выводы для данного интерфейса имеют обозначения SS (Slave Select), SCK (Synchronizing Clock), MISO (Master Input Slave Output), MOSI (Master Output Slave Input);

- порты A4 и A5 используются для приёма-передачи данных посредством меж интегральных связей (I2C); выводы обозначаются как SDA (Serial Data) и SCL (Serial Clock) [5].

Интерфейс программы Arduino IDE. Программа управления создается в специальном программном обеспечении или в интегрированной среде программирования, которая называется Arduino IDE. При открытии данной программы выходит следующее окно:

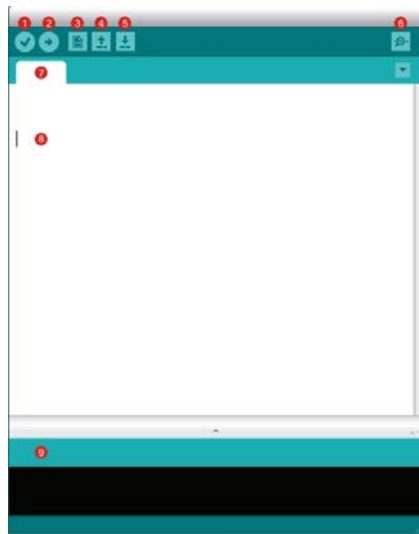


Рисунок 1 – GUI (Graphical User Interface) – Графический интерфейс пользователя

1) Verify: (Compiles) Данная функция компилирует (преобразовывает) написанный код в бинарный файл и сканирует на наличие ошибок в программе;

2) Upload: Как только программа готова, необходимо прошить микроконтроллер; эта функция обеспечивает загрузку программы в память МК, однако также стоит обратить внимание на наличие подключения платы к ПК;

3) New: С помощью функций «New» можно начать создание нового кода, программы;

4) Open: Выбрав данную функцию можно открыть специальное меню, где будет список со всеми сохраненными проектами. Это позволяет открыть уже существующие написанные скетчи;

5) Save: После того как программа была написана, необходимо его сохранить;

6) Serial Monitor: В панели инструментов Отображает работу COM-порта с текущим скетчем;

7) Sketch Name: В данной области отражается название текущего вашего проекта;

8) Code Area: Область, куда записывается строки кода программы;

9) Message Area: Поле, где отображаются различного рода сообщения о записи, загрузки или сообщения о наличии ошибок в коде.

Для того чтобы загрузить написанную программу в МК, предварительно нужно выбрать применяемый тип платы. На панели инструментов во вкладке «Сервис» имеется список всех доступных микроконтроллеров [6].

Для того чтобы загрузить скетч в память микроконтроллера, необходимо сначала подключить плату к USB разъему ПК, затем уже непосредственно в панели инструментов выбрать используемый микроконтроллер следующим образом: из меню панели инструментов выбираем вкладку «Сервис», появляется подающее меню, в котором необходимо найти строку «Платы» и из списка выбрать используемое устройство. В случае, если при подключении неизвестно к какому порту подключена плата, то необходимо выполнить следующие действия: открываем «Панель управления», из списка выбираем «Диспетчер устройств», находим пункт «Контроллеры USB» и смотрим, при отсоединении платы от ПК одна строка исчезает. После нужно обратно из панели инструментов выбрать «Сервис», из списка находим пункт «Последовательные порт» и смотрим на список, запоминаем. Далее заново подключаем плату и смотрим на список, должно появиться название нового используемого порта. Данный появившийся порт будет тем портом, который вы искали [7].

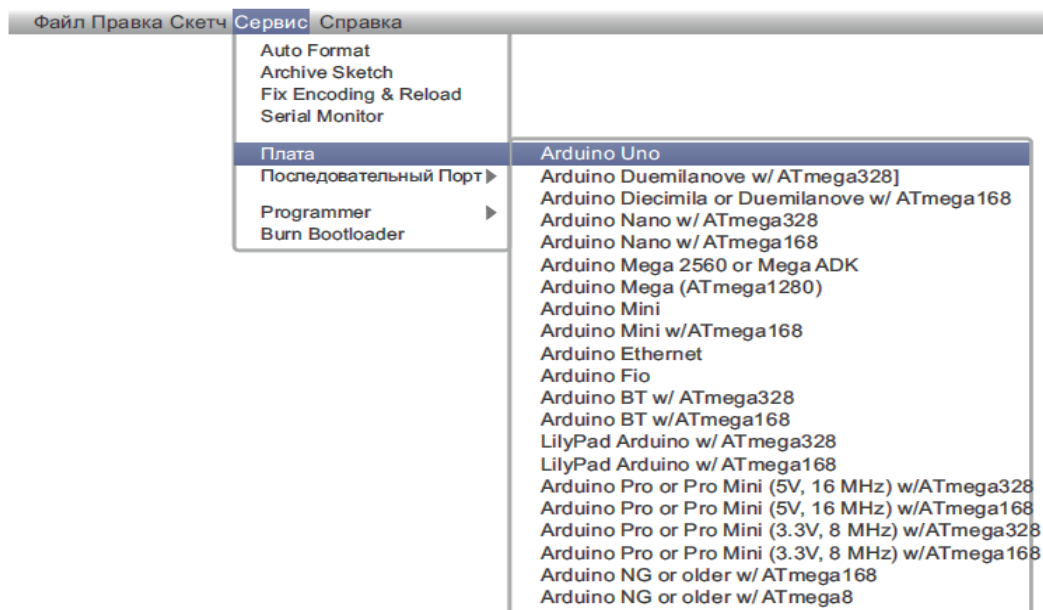


Рисунок 2 – Диалоговое окно выбора МК

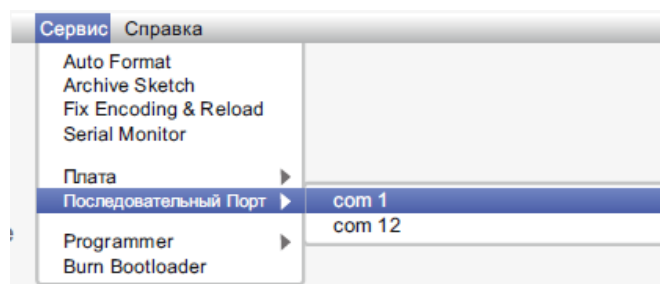


Рисунок 3 – Диалоговое окно выбора используемого порта

Практическая часть. Целью применения данной программной среды является повышение точности плазменной резки и качества металлических изделий путем разработки системы управления расстоянием между плазматроном и обрабатываемой поверхностью металла.

Для достижения данной цели разработан алгоритм управления, позволяющий регулировать расстояние между фактическим значением плазматрона и обрабатываемой поверхностью.

Разработана программа в среде Arduino IDE. Программа начинается с инициализаций портов ввода/вывода микроконтроллера и переменных, используемых для постоянного и временного хранения данных (рис. 4). Два цифровых порта, используемые для измерительного блока, проинициализированные в качестве цифровых входов, считывают допустимые максимальные и минимальные пороги расстояния между плазматроном и обрабатываемой поверхностью металла. Четыре цифровых порта, используемые для исполнительного механизма, проинициализированные в качестве цифровых выходов, выдают управляющие сигналы на драйвер шагового двигателя. В процессе плазменной резки от измерительного блока выдается два дискретных сигнала уровня 0В – 5В. Первый дискретный сигнал появляется в момент превышения минимального порога уровня между плазматроном и обрабатываемым материалом, который составляет 3 мм, а индикация второго сигнала определяет соответственно превышения максимального порога между плазматроном и обрабатываемым материалом, который составляет 5 мм [8].

```

if (x1==LOW) {
    digitalWrite( in1, HIGH );
    digitalWrite( in2, HIGH );
    digitalWrite( in3, LOW );
    digitalWrite( in4, LOW );
    delay(d1);

    digitalWrite( in1, LOW );
    digitalWrite( in2, HIGH );
    digitalWrite( in3, HIGH );
    digitalWrite( in4, LOW );
    delay(d1);

    digitalWrite( in1, LOW );
    digitalWrite( in2, LOW );
    digitalWrite( in3, HIGH );
    digitalWrite( in4, HIGH );
    delay(d1);

    digitalWrite( in1, HIGH );
    digitalWrite( in2, LOW );
    digitalWrite( in3, LOW );
    digitalWrite( in4, HIGH );
    delay(d1);
}

if (x2==HIGH) {
    digitalWrite( in1, HIGH );
    digitalWrite( in2, LOW );
    digitalWrite( in3, LOW );
    digitalWrite( in4, HIGH );
    delay(d1);

    digitalWrite( in1, LOW );
    digitalWrite( in2, LOW );
    digitalWrite( in3, HIGH );
    digitalWrite( in4, HIGH );
    delay(d1);

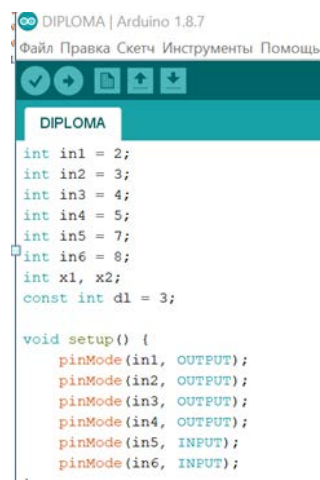
    digitalWrite( in1, LOW );
    digitalWrite( in2, HIGH );
    digitalWrite( in3, HIGH );
    digitalWrite( in4, LOW );
    delay(d1);

    digitalWrite( in1, HIGH );
    digitalWrite( in2, HIGH );
    digitalWrite( in3, LOW );
    digitalWrite( in4, LOW );
    delay(d1);
}

```

Рисунок 4 – Предварительная инициализация

Следующая часть программы состоит из главного цикла, где реализуется процесс сравнения измеряемых дискретных сигналов (рис. 5) и генерация управляющих сигналов на плату драйвера шагового двигателя.



```

DIPLOMA | Arduino 1.8.7
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь

DIPLOMA

int in1 = 2;
int in2 = 3;
int in3 = 4;
int in4 = 5;
int in5 = 7;
int in6 = 8;
int x1, x2;
const int d1 = 3;

void setup() {
    pinMode(in1, OUTPUT);
    pinMode(in2, OUTPUT);
    pinMode(in3, OUTPUT);
    pinMode(in4, OUTPUT);
    pinMode(in5, INPUT);
    pinMode(in6, INPUT);
}

```

Рисунок 5 – Главный цикл программы

Через цифровые порты происходит считывание дискретных сигналов и запись данных в переменные, которые затем сравниваются и в зависимости от результата сравнения выдают дискретные цифровые сигналы на выходы [9]. То есть при превышении минимального порога уровня на выходах микроконтроллера выдается комбинация сигналов в такой последовательности, что шаговый двигатель проворачивает направляющий вал и поднимает плазматрон над поверхностью обрабатываемого материала. При превышении максимального значения уровня генерируется другая последовательность сигналов и плазматрон опускается вниз до допустимого уровня. Таким образом циклически происходит регулирование расстояния между плазматроном и обрабатываемым материалом. Данная программа позволяет исключить короткое замыкание при приближении плазматрона к поверхности материала и исчезновение электрической дуги при удалении от поверхности материала [10].

Заключение. Применение новых программных средств позволяет улучшить существующие методы и способы обработки материалов. В данной статье рассмотрен способ, позволяющий применять программную среду Arduino IDE для автоматического регулирования расстояния между обрабатываемой поверхностью и непосредственно головкой плазматрона. Применение данной программной среды позволило автоматизировать процесс обработки материалов с помощью воздушно-плазменной резки. Одним из важных факторов в данной ситуации является экономический результат от использования автоматизированных систем управления, обуславливающийся увеличением продуктивности процесса производства с установкой АСУ ТП. Данный эффект определяется возрастанием качества и устойчивости, сокращением убытков, увеличением производительности и в целом повышением и экономичности процесса.

Список литературы

1. Брюс Картер, Рон Манчини, «Операционный усилитель для всех». – 2011.
2. Васильев К.В. Плазменно-дуговая резка. – 1984.
3. Котиков В.Н., Ширшов И.Г. Плазменная резка. – 1997.
4. Гаврилов С.А. Искусство схемотехники. Просто о сложном. – 2011.
5. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. – 2005.
6. Паул Шерц, Симон Монк, «Практическая электроника для изобретателей». – 2015.
7. Ревич Ю. Практическое программирование микроконтроллеров Atmel AVR на языке ассемблера. – 2008.
8. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Tiny и Mega фирмы «Атмел». – 2004.
9. Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino. – 2012.
10. Хартов В.Я. Микроконтроллеры AVR. – 2007.

Получено 21.07.2020

МРНТИ 20.01.04

Ж.М. Сейтахметова

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ВНЕДРЕНИЮ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ В ШКОЛЕ НА ОСНОВЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПЛАТФОРМ

Статья посвящена проблеме предоставления качественного образования с учетом потребностей учащихся в условиях удаленного обучения. Описаны результаты эксперимента по внедрению персонализированного обучения в школе. Дается сравнительный анализ образовательных электронных платформ с учетом персонализации обучения.

Мақала қашықтықтан оқыту жағдайында оқушылардың қажеттіліктерін ескере отырып сапалы білім беру мәселесіне арналған. Мақалада жалпы білім беретін мектепте тұлғаландырылған оқытуды енгізу бойынша эксперимент нәтижелері сипатталған. Электрондық платформалардың салыстырмалы талдауы берілген.

The article is devoted to the problem of providing high quality education, taking into account the needs of students in the context of distance learning. The article describes the results of an experiment on the implementation of personalized learning in schools. A comparative analysis of educational electronic platforms is given taking into account the personalization of learning.

Ключевые слова: персонализированное обучение, индивидуальная образовательная программа, информационные технологии.

Исследования показывают, что традиционная модель преподавания, рассчитанная на всех учащихся в реалии современного мира не срабатывает. На данном этапе реализации Государственной программы «Цифровой Казахстан» персонализированное образование является альтернативой традиционному образованию, которое шаблонно применяется ко всем учащимся незави-

симо от стиля обучения, личных качеств и приоритетов [1]. Этот момент нашел яркое отражение во время пандемии коронавируса, когда школы большинства стран, в том числе Казахстана, вынуждены были перейти на удаленный режим обучения. Появились ряд проблем, связанных с предоставлением качественного образования в дистанционном формате. Одна из них как раз заключалась в выборе более эффективных образовательных электронных платформ (информационных технологий) с учетом персонализации обучения (далее ПО).

Проведенный обзор теории и практики в данной сфере показывает недостаточную изученность внедрения ПО в систему общеобразовательных школ. Тем не менее, имеется ряд научно обоснованных и активно применяемых зарубежом практик внедрения ПО и практических решений поддержки ПО посредством информационных технологий.

Ключевые позиции по теории:

- *Персонализированное образование* можно охарактеризовать как образовательную модель, в которой программы, методы обучения и академические стратегии ориентированы на индивидуальные потребности, интересы и социокультурный фон обучаемого.

- В зависимости от используемых технологий и методов преподавания выделяют четыре формы персонализированного обучения: *расширение автономности обучающегося, самообразование, дифференцированное обучение и адаптивное обучение* (рис. 1).

- Дэн Бакли (Dan Buckley) выделил два направления персонализации обучения: персонализация программы, когда обучение адаптируется под конкретного слушателя, и персонализация самим обучающимся, когда слушатель самостоятельно выстраивает свое обучение [2].

- Персонализация не исключает группового взаимодействия. Наоборот, учащиеся объединяются по интересам, в зависимости от выбранных ими траекторий. Групповое взаимодействие может быть частью индивидуального подхода [3].

- Учащиеся часто не осознают своих потребностей. Наша задача – направить ребенка и связать обучение со сферой его интересов [4].



Рисунок 1 – Формы персонализации обучения

Основные практические решения идей персонализированного обучения:

- *Геймификация.* По аналогии с компьютерными играми обучаемый начинает с простых заданий и повышает свой уровень в процессе занятий, не заучивая многочисленные правила [5]. Анализируя успехи и неудачи, он понимает, на что стоит сделать упор.

- В американских школах популярность набирает программа *Teach to One*. В ней ученики средней школы по 90 минут в день могут заниматься математикой. Алгоритмы анализируют успех обучающегося и составляют оптимальное расписание на следующий день. Программа выдает образовательные инструкции как для ученика, так и его школьного преподавателя.

- В России персонализированные курсы предлагает *онлайн-школа «Фоксфорд»*. На платформе представлены шесть индивидуальных образовательных маршрутов: математический, гуманитарный, естественно-научный, технологический, физико-математический и социально-гуманитарный. Каждый маршрут включает занятия по школьной программе, углубленные и олимпиадные курсы.

- Школа будущего *École 42* – некоммерческая школа программирования в Париже. Уникальность школы в том, что в ней нет преподавателей: студенты обучают друг друга (метод одноранговой сети, peer-to-peer pedagogy), а занятия предполагают работу над проектами (project-based learning) [6]. На основе методики *École 42* Сбербанк запустил аналогичный проект в России – «Школа 21».

Основываясь на теоретические выводы, определены цели и задачи исследования.

Цель исследования: разработка механизма реализации персонализированного обучения в школе по модели «обучение без ускорения по одному или нескольким предметам» для учащихся среднего звена (7-9 кл) на основе информационной технологии.

При реализации цели использовались следующие *методы исследования:*

- анализ применяемых зарубежом практик внедрения ПО и практических решений поддержки ПО посредством информационных технологий;

- сравнительный анализ электронных платформ для реализации ПО;

- эксперимент по внедрению обучения без ускорения в рамках одного учебного года;

- наблюдение, анкетирование учителей, интервью с учащимися и родителями;

- дополнительные инструменты сбора информации: отзывы о работе электронных платформ, работы учащихся, СОР/СОЧ, личные достижения.

Эксперимент проводился на базе Назарбаев Интеллектуальной школы химико-биологического направления г. Усть-Каменогорск в 2019-2020 учебном году.

Подготовительный этап

В течение 2019-2020 учебного года согласно плану исследования педагогическим советом школы была утверждена программа эксперимента. В эксперименте приняли участие 7 учителей, 3 педагога-куратора и 2 педагога-психолога. Согласно заявлениям родителей трое учащихся 8-х классов начали вторую учебную четверть по индивидуальным планам обучения по предметам биология, физика и английский язык. До начала процесса обучения была проведена большая подготовительная работа рабочей группой:

- создана накопительная папка на сетевом сервере школы с доступом для всех участников эксперимента по необходимости (нормативно-правовая база, методические материалы, результаты анкетирования и другая информация);

- проведено анкетирование учащихся на определение личных интересов и целей;

- проведена психологическая диагностика на определение типа восприятия материала;

- проведено анкетирование учителей по определению уровня знаний основ ПО;

- проведены беседы с родителями;

- создана тихая зона в библиотеке;

- создана электронная платформа на Google classroom для обучаемых.

Анализ результатов эксперимента на основе методов исследования

Учителя, задействованные в проекте, еженедельно собирались для обучения и обмена сведениями по ходу эксперимента. Обучение проводилось тренером по поддержке одаренных учащихся. Даже на начальном этапе 73,3 % учителей правильно определяли понятие ПО и могли четко обозначать различия между дифференцированным, персональным, индивидуальным и

онлайн обучением. В качестве самых эффективных методов и стратегий ПО учителя отмечают: цифровые технологии, опережающее обучение, углубление, ускорение, расширение. К тому же они считают, что ПО по профильным предметам идет более успешно, так как имеется определенный контент и четкие цели обучения.

Родители данных учащихся также были вовлечены в процесс исследования. Особых обращений с их стороны не было, так как при совместном составлении программы обучения родители выяснили для себя все моменты и поняли, насколько эффективен и полезен для их ребенка данный вид обучения. В дальнейшем с их стороны была только поддержка и позитивные отзывы.

Беседы с учащимися, наблюдение за их процессом обучения и изучение школьной документации велось согласно плану эксперимента. За эмоциональным состоянием учащихся следили психологи и кураторы. Ежечетвертно проводился мониторинг знаний учащихся по выбранным предметам. В целом результаты были положительные: по результатам 3 учебной четверти было отмечено, что все учащиеся успевают по выбранному предмету на «отлично», более того, учащиеся опережали своих сверстников по многим разделам программы. Доказательством этому может послужить занятие данными учащимися первых мест на школьном этапе олимпиады (абсолютные победители) и участие их с опережением на сетевой олимпиаде. Психологи также отмечают положительный эффект обучения проявлением лидерских качеств данных учащихся, повышением мотивации к самостоятельному усвоению знаний и уверенности в своих силах. Результаты исследования показали, что учащиеся, участвовавшие в ПО, стали более авторитетными в школьном сообществе, их признают и считаются с их мнением. Они стали более уверенны в себе, начали практиковать взаимообучение.

Сравнительный анализ информационных технологий поддержки ПО

Первоначально учителями была использована бесплатная платформа *Seesaw*, которая позволяет загружать различные виды информации, такие как текст, презентация, видеоуроки, картинки и т.д., через визуально понятные и удобные встроенные инструменты. Также платформа позволяет вести контроль за успеваемостью, развивать определенные навыки, давать обратную связь. В ходе работы выяснилось, что некоторые форматы файлов не могут быть загружены в эту платформу, а также видеоресурсы, создаваемые с использованием возможностей платформы, имеют специальный формат, который создает трудности при использовании. По этой причине решено было перейти на платформу *Google Classroom*. Платформа имеет инструменты для создания основных документов MS Office, включая онлайн опросы и тесты. Также данная платформа позволяет загружать разные типы файлов самых распространенных форматов.

В четвертой учебной четверти с переходом всех школ на онлайн обучение учителя используют программу *MS Teams*, которая имеет множество возможностей для персонализации обучения, в частности интеграция программы с другими приложениями расширяет ее возможности, добавляя интерактивность, возможность контроля, планирования, оценивания ученика. Учителя особенно отмечают эффективность данной платформы при оценивании учебных достижений одаренных учащихся. В качестве поддержки учителей были созданы видеоуроки по использованию возможностей программы Teams совместно с другими приложениями, как записная книжка OneNote, SharePoint, Forms [7, 8].

На основе анализа представлена сравнительная таблица электронных платформ информационной поддержки ПО (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительная таблица возможностей электронных платформ при ПО

Критерии оценивания \ Типы загружаемых файлов	Seesaw	Google Classroom	MS Teams
	ограничены	не ограничены	не ограничены
Возможность проведения онлайн урока	-	-	+
Возможность выбора ресурса учеником по уровню	+	+	+
Использование инструментов редактирования заданий	+	+	+

Окончание таблицы 1

Критерии оценивания \ Типы загружаемых файлов	Seesaw	Google Classroom	MS Teams
	ограничены	не ограничены	не ограничены
Вставка голосового сообщения в документ	+	-	+
Инструменты коммуникации с другими учащимися	+	+	+
Организация групповых работ учащихся	-	-	+
Возможности обратной связи	+	+	+
Возможности автоматизированного оценивания	-	+	+
Автоматизированный анализ прогресса	+	-	-
Планирование мероприятий	+	+	+
Запись видеоурока	+	-	+
Контроль со стороны родителей	+	-	+
Обеспечение безопасности	+	+	+
Документирование своего обучения	+	-	+
Возможность рекомендации ресурсов по уровню программой	-	-	-
Бесплатное использование полной версии	-	+	+
Интеграция с другими приложениями	-	+	+

Данные платформы в той или иной мере позволяют эффективно организовать персонализацию обучения. Но проведенное исследование позволяет сделать вывод, что есть необходимость разработки (адаптации) онлайн-платформы, которая могла бы на основе анализа данных советовать ученику контент, который соответствует его интересам и его уровню подготовки (искусственный интеллект). В данный момент ведется изучение возможностей внедрения подобных инструментов обучения.

Результаты исследования:

- Изучен накопленный опыт зарубежных стран по внедрению ПО, выявлены основные методы и стратегии данного вида обучения;
- Выявлены основные преимущества и недостатки внедрения ПО в школе;
- Разработан механизм изучения отдельных предметов по индивидуальному образовательному маршруту на основе образовательных электронных платформ (обучение без ускорения в рамках одного учебного года);
- Разработаны рекомендации для эффективного внедрения ПО по индивидуальному образовательному маршруту с учетом преимуществ и недостатков внедрения ПО;
- Сделан сравнительный анализ информационных технологий поддержки персонализированного обучения.

Список литературы

1. Об утверждении Государственной программы «Цифровой Казахстан» // Постановление Правительства Республики Казахстан от 12 декабря 2017 года № 827. – <https://digitalkz.kz/>
2. Edu-tech // Информационно-аналитический бюллетень КУ Сбербанка. – 2019. – № 2. – С. 12-14.
3. Moor Ch. Answer the question. – Cambridge, s.a. – 1996. – P. 48
4. Карпенко М.П. Индивидуализация обучения – основа его качества [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.conf.muh.ru/071227/thesis_Karpenko.htm (дата обращения: 24.03.2010).
5. Attali Y., Arieli-Attali M. Gamification in assessment: Do points affect test performance? // Computers & Education. – 2015. – Vol. 83. – P. 57-63.
6. Smart Education [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ibm.com/smarterplanet/global/files/au_en_uk_cities_ibm_smarter_education_now.pdf.
7. Киселева А.А., Стародубцев В.А. Персональные образовательные сферы в контексте дистанционных образовательных технологий // Открытое образование. – 2010. – № 6. – С. 68-78.

8. Васильченко С.Х. Формирование персональной образовательной среды на основе информационных технологий для реализации индивидуальных траекторий обучения: автореф. дис. ... канд. пед. наук. – М.: МГПУ, 2012. – 24 с.

Получено 20.08.2020

МРНТИ 29.19.13

Е.Е. Табиева^{1,2}, Б.К. Рахадиллов^{1,3}, Г.К. Уазырханова², Д. Байжан¹

¹НИЦ «Инженерия поверхности и трибология» ВКУ им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск

²Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

³ТОО «PlasmaScience», г. Усть-Каменогорск

СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОЛЕСНОЙ СТАЛИ ДО И ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ

Настоящая работа посвящена исследованию влияния технологических параметров электролитно-плазменной поверхностной закалки на структуру и механические свойства поверхности образцов колесной стали марки 2. Установлено, что микротвердость колесной стали марки 2 после электролитно-плазменной поверхностной закалки при нагреве 2 сек увеличивается в 2,8 раза по сравнению с исходным состоянием. Были исследованы трибологические свойства образцов до и после электролитно-плазменной поверхностной закалки. Все обработанные образцы имеют хорошую степень улучшения трибологических свойств.

Бұл жұмыс электролиттік-плазмалық беттік беріктендірудің технологиялық параметрлерінің 2 маркалы доңғалақтық болатының үлгілері бетінің құрылымы мен механикалық қасиеттеріне әсерін зерттеуге арналған. Электролиттік-плазмалық беттік беріктендіруде 2 сек қыздырылған кезден кейін 2 маркалы доңғалақтық болаттың микроқаттылығы бастапқы күймен салыстырғанда 2,8 есе артатындығы анықталды. Үлгілердің электролиттік-плазмалық беттік беріктендіруге дейін және одан кейінгі трибологиялық қасиеттері зерттелді. Барлық өңделген үлгілердің трибологиялық қасиеттері жақсарды.

This work is devoted to the study of the influence of technological parameters of electrolytic-plasma surface quenching on the structure and mechanical properties of the surface of samples of brand 2 wheel steel. It was found that the microhardness of the brand 2 wheel steel after electrolytic-plasma surface quenching during heating for 2 seconds increases by 2.8 times compared to the initial state. Tribological properties of samples before and after electrolytic-plasma surface quenching were studied. All processed samples have a good degree of improvement in tribological properties.

Ключевые слова: поверхностная закалка, колесная сталь, структура, микротвердость, износостойкость.

Как известно [1-2], в настоящее время бандажи локомотивов уступают по механическим свойствам (в частности, по твердости) вагонным колесам и рельсам, а также их зарубежным аналогам. Например, в международный стандарт на бандажи ISO 1005-1 была включена сталь марки C77GT с содержанием углерода 0,77-0,80 % и прочностью 1050-1200 МПа. Прочность отечественных бандажей из стали марки 2, изготавливаемых в настоящее время по ГОСТ 398-96, не превышает 1100 МПа. Твердость серийных бандажей относительно не высока и наблюдается большой перепад ее по сечению, что обусловлено недостатками существующей технологии закалки в стопах. Фактический пробег до разрушения таких бандажей, как правило, не превышает 100 тыс км, что приводит к необходимости преждевременной их замены и дополнительным финансовым затратам на локомотивное хозяйство [3].

В связи с этим задача повышения эксплуатационной стойкости локомотивных бандажей, а в первую очередь их твердости и износостойкости, контактно-усталостной выносливости является весьма актуальной. С растущей интенсификацией работы железнодорожного транспорта увеличиваются и требования к конструкции его подвижного состава, в частности к бандажам колесных пар. Для обеспечения в этих условиях надежности эксплуатации этих деталей необходимо особое

внимание уделять технологическим решениям по восстановлению их работоспособности и защите рабочих поверхностей от износа [4].

В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы является исследование влияния технологических параметров электролитно-плазменной поверхностной закалки (ЭППЗ) на структуру, фазовый состав и микротвердость поверхности образцов колесной стали марки 2.

Таблица 1

Химический состав в масс. % стали марки 2, согласно ГОСТ 398-96

Марка стали	Массовая доля элементов, %					
	Углерод	Марганец	Кремний	Ванадий	Сера	Фосфор
2	0,55-0,65	0,50-0,90	0,22-0,45	не более 0,10	не более 0,030	не более 0,035
	остальное Fe, а также допустимая массовая доля (%): Ni ≤0,25, Cr=0,20, Cu=0,30					

Заготовки образцов стали марки 2 для исследования вырезали из банджа в виде параллелепипеда размером $15 \times 15 \times 10$ мм³. При малых оборотах резания и низкой нагрузке образец не испытывает деформации и термического воздействия. Подвергнутые электролитному нагреву поверхности образцов обрабатывали механической шлифовкой и полировкой до зеркального блеска. Модификацию поверхности стали изучали на оптическом микроскопе «ALTAMI-MET-1M» в ЦОР «VERITAS» при Восточно-Казахстанском техническом университете им. Д. Серикбаева. Микротвердость поверхностных слоев образцов до и после обработки измеряли методом вдавливания алмазного индентора на приборе ПМТ-3М при нагрузке 1 Н и времени выдержки при этой нагрузке 10 с [5-6]. Дорожки износа были исследованы с применением бесконтактного 3D-профилометра MICROMEASURE 3D station.

Испытание образцов на абразивное изнашивание проводили на экспериментальной установке для испытания на абразивное изнашивание по схеме «вращающийся ролик – плоская поверхность» в соответствии с ГОСТ 23.208-79, который совпадает с американским стандартом ASTM C6568.

ЭППЗ осуществляли в катодном режиме на установке электролитно-плазменной обработки в НИЦ «Инженерия поверхности и трибология» при Восточно-Казахстанском университете им. С. Аманжолова [7-8]. Схематическое изображение установки показано на рис. 1. Источником питания служил мощный выпрямитель, дающий на выходе максимально 360В/60А в виде постоянного тока. Обработку образцов производили быстрым нагревом в течение 1-4 сек с последующим охлаждением в проточном электролите. Параметры обработки представлены в табл. 2.

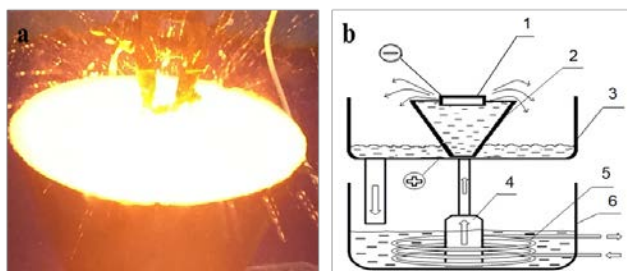


Рисунок 1 – Процесс обработки образца электролитной плазмой (а) и функциональная схема установки для ЭППЗ(б): 1 – обрабатываемая деталь; 2 – конусообразная электролитическая ячейка из нержавеющей стали; 3 – поддон; 4 – насос; 5 – теплообменник; 6 – ванна с электролитом

Таблица 2

Технологические параметры электролитно-плазменной обработки

Состав электролита (% , массовая)	Время обработки, сек.	T _{max} , °C	U, В	I, А
10 % карбамид (NH ₂) ₂ CO +20 % карбонат натрия Na ₂ CO ₃ +70 % вода	1, 2, 3, 4	850-900	320	40

Проведенные металлографические исследования колесной стали 2 в состоянии поставки, показали, что поверхность исследуемых образцов представляет собой ферритно-перлитную структуру (рис. 2). Как видно из рис. 2, *a*, зерна перлита и феррита располагаются друг относительно друга случайным образом. Приблизительно 60 % основного объема исследуемой стали занимают зерна феррита.

При исследовании микроструктуры приповерхностных слоев образцов стали 2, подвергнутых ЭППЗ в плазме электролита, обнаружены структурные изменения. На рис. 2, *b-e* показана микроструктура поверхностного слоя стали до и после ЭППЗ с продолжительностью обработки 1, 2, 3 и 4 сек при температуре 850-900 °С.

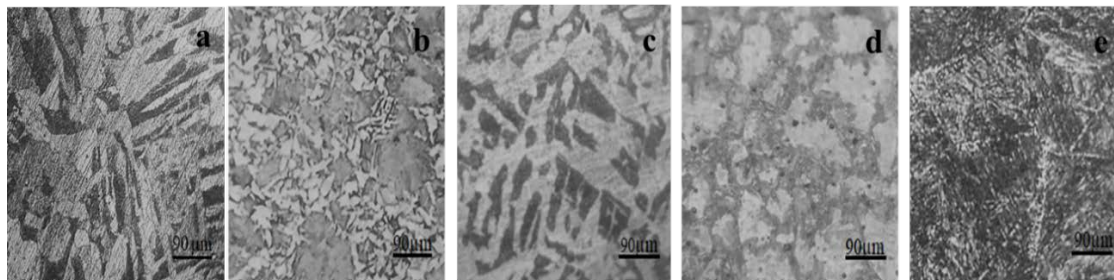


Рисунок 2 – Микроструктура колесной стали марки 2: до ЭППЗ – *a*) исходное состояние; после ЭППЗ – *b*) 1 с, *c*) 2 с, *d*) 3 с, *e*) 4 с

После электролитно-плазменной поверхностной заковки с продолжительностью 3-4 секунды наблюдается рост ферритной структуры, при этом уменьшаются зерна перлита. После ЭППЗ с нагревом в течение 2 сек наблюдается образование цементитной сетки в структуре стали 2, которая расположена вокруг феррита. Согласно рентгенодифракционному анализу вместе с цементитом обнаружена окись железа (рис. 3). Также можно заметить, что зерна фаз перлита постепенно уменьшаются по сравнению с микроструктурой стали 2 в состоянии поставки. Таким образом, микроструктура поверхности закаленного образца стали 2 представляет собой мелкозернистую ферритную структуру.

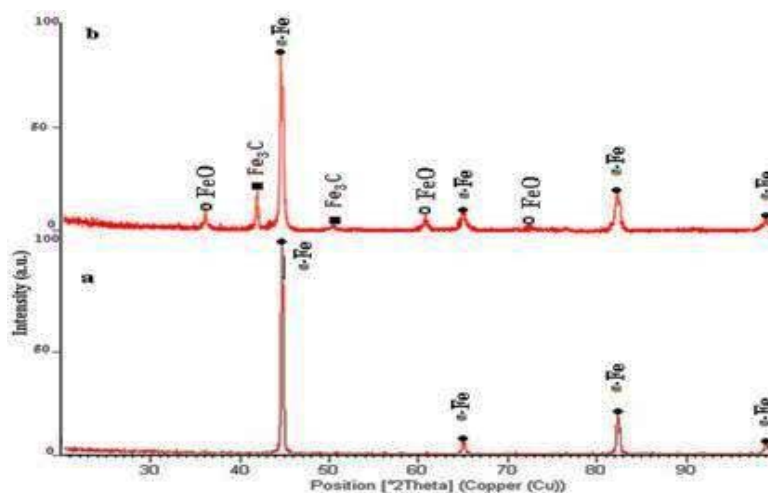


Рисунок 3 – Рентгенофазовый анализ стали марки 2: *a*) исходное состояние; *b*) после ЭППЗ

Учитывая актуальность проблемы повышения эксплуатационных характеристик колесной стали марки 2, одним из наиболее важных свойств поверхностного слоя, который в значительной

степени влияет на износостойкость, является твердость. В данной работе изучены изменения микротвердости поверхностного слоя стали марки 2 после ЭППЗ. На рис. 4 приведена диаграмма зависимости значений микротвердости стали марки 2 от продолжительности воздействия электролитной плазмы. Микротвердость стали 2 в исходном состоянии составляет 1448 МПа, после закалки с продолжительностью 1, 2, 3 и 4 сек – 1757 МПа, 3486 МПа, 2911 МПа и 3523 МПа соответственно, что в 2,8 раза увеличилось по сравнению с микротвердостью в состоянии поставки. Согласно полученным данным микротвердости для колесной стали марки 2 оптимальным режимом для электролитно-плазменной закалки является обработка продолжительностью 2 секунды при температуре 850-900 °С с составом электролита водного раствора 10 % карбамида $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ и 20 % карбоната натрия Na_2CO_3 .

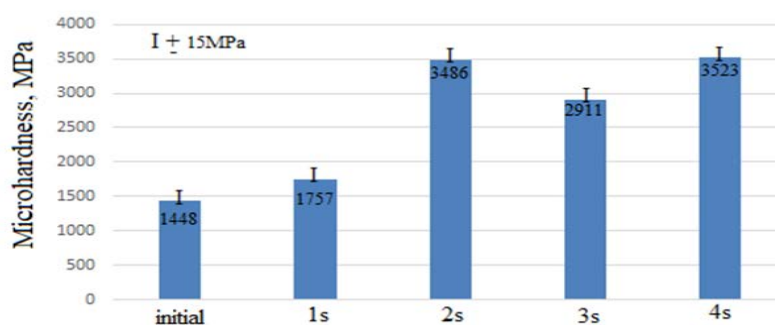


Рисунок 4 – Диаграмма значения поверхностной микротвердости стали марки 2

Также были исследованы трибологические свойства образцов до и после электролитно-плазменного упрочнения. Экспериментальные кривые зависимости коэффициента трения от длины пробега приведены на рис. 5. Испытание проводилось по схеме «шар-диск», длина пробега составляла 31 м, скорость – 2 см/с, нагрузка – 5 Н.

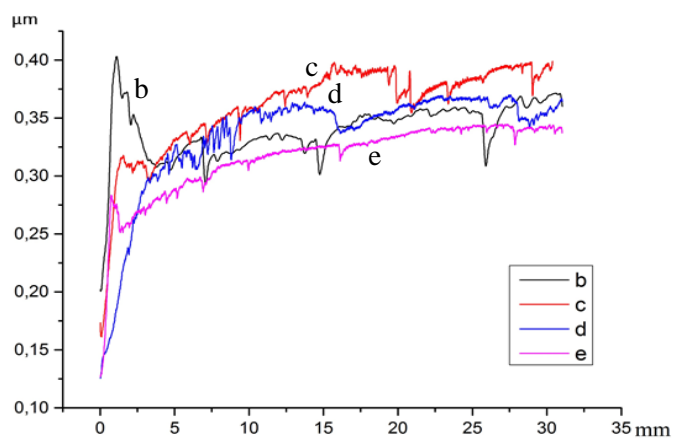


Рисунок 5 – Коэффициент трения колесной стали до и после ЭППЗ:
b – исходный; c – 2 с; d – 3 с; e – 4 с

Результаты испытаний показали, что средние коэффициенты трения при нормальной силе 5 Н и скорости взаимного перемещения 2 см/с находятся в пределах от 0,27 до 0,40, что, возможно, свидетельствует о разрушении поверхностного слоя исследуемых образцов. Все обработанные образцы имеют хорошую степень улучшения трибологических свойств.

Трибологические характеристики образцов до и после ЭППЗ характеризовались интенсивностью изнашивания, которая приведена в табл. 3.

Таблица 3

Интенсивность изнашивания образцов стали марки 2 до и после ЭППЗ

№ п/п	Наименование образцов	Интенсивность изнашивания, $\text{мм}^3/(\text{Н}\cdot\text{м})$
1	исходный	$4,83 \times 10^{-4}$
2	после ЭППЗ, 1 с	$3,11 \times 10^{-4}$
3	после ЭППЗ, 2 с	$1,33 \times 10^{-4}$
4	после ЭППЗ, 3 с	$0,33 \times 10^{-4}$

С помощью профилометра были сделаны снимки дорожки износа для различных стадий ЭППЗ (рис. 6).

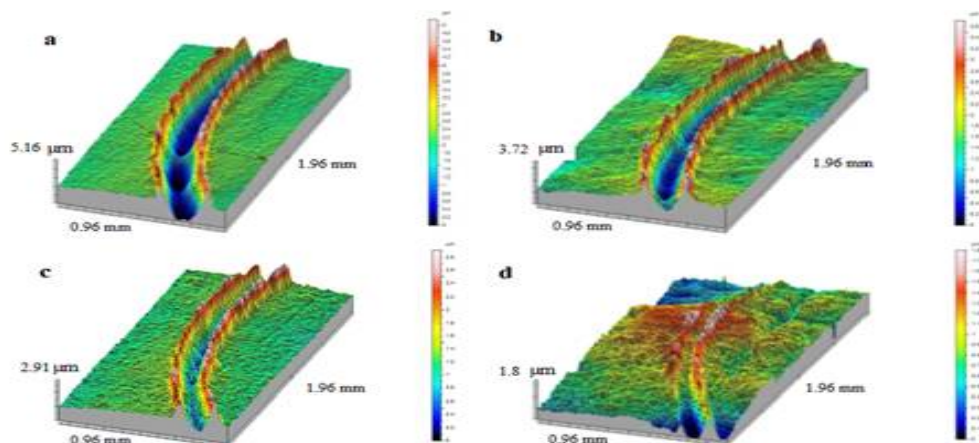


Рисунок 6 – Следы износа после трибологических испытаний образцов в исходном состоянии (a) и после ЭППЗ со временем обработки 2с (b), 3с (c), 4с (d)

Оценивая износостойкость образцов на основании геометрических параметров дорожек износа, можно сказать, что глубина дорожки образца после ЭППЗ значительно меньше по сравнению с необработанным образцом.

Видно (рис. 7), что потеря массы после ЭППЗ меньше, чем у исходных образцов, что указывает на повышение стойкости к абразивному износу стали марки 2 после ЭППЗ. По данным потери массы определена относительная износостойкость стали марки 2. После ЭППЗ стойкость к абразивному износу увеличилась в 2,5-3 раза.

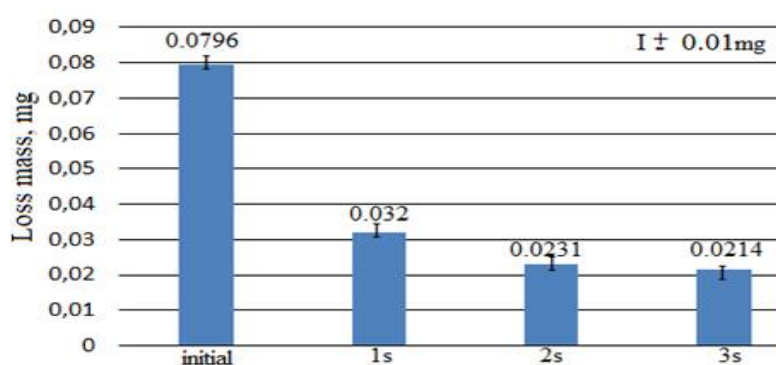


Рисунок 7– Стойкость образцов стали марки 2 к абразивному износу

В данной работе изучены особенности ЭППЗ колесной стали марки 2 в водных растворах электролита. Разработан технологический процесс закалки в электролитной плазме, предложен состав рабочего электролита. Также изучены структура и микротвердость поверхностных слоев, образующихся при ЭППЗ. Результаты исследования можно представить следующими выводами:

– Установлено, что после ЭППЗ при продолжительности нагрева 1,2,3 и 4 сек микротвердость составила 1757 МПа, 3486 МПа, 2911 МПа и 3523 МПа соответственно, что в 2,8 раза увеличилось по сравнению с микротвердостью в состоянии поставки.

– Выявлена микроструктура исходного образца стали марки 2, которая представляет собой α -Fe структуру с ОЦК решеткой. При ЭППЗ образцов стали марки 2 с продолжительностью 1, 2, 3 и 4 сек при температуре 850-900 °С в электролите, содержащем водный раствор 10 % карбамида $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ и 20 % карбоната натрия Na_2CO_3 , на поверхности исследуемых образцов формируется поверхностный слой, включающий в себя α -Fe феррит, цементит Fe_3C , окись железа.

В статье использованы результаты, полученные при поддержке грантового финансирования МОН РК (BR 05236748).

Список литературы

1. Разумов А.С., Пашолок И.Л., Цюренко В.Н. Колеса повышенной эксплуатационной стойкости для грузовых вагонов нового поколения // Развитие железнодорожного транспорта в условиях реформ: сб. науч. тр. – М.: Интекст, 2003. – С. 199-206.
2. Брюнчуков Г.И. Методы повышения эксплуатационной стойкости бандажей локомотивных колес // Развитие железнодорожного транспорта в условиях реформирования: сб. науч. тр. – М.: Интекст, 2006. – С. 214-220.
3. Clayton P., Sawley K.J., Bolton P.J., Pell G.M. Wear of bainitic steels // Wear. – 1987. – N120. – P. 199-220.
4. Mitao S., Yokoyama H., High strength bainitic steel rails for heavy haul railways with superior damage resistance. STS-Conference: Wheel/Rail Interface. – Moscow, 1999.
5. Rakhadilov B.K., Tabiyeva Y.Y., Uazyrkhanova G.K., Zhurerova L.G., Baizhan D., Influence of electrolytic-plasma surface quenching on the structure and strength properties of ferritic-pearlite class wheel steel // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials. – 2020. – 4(2). – P.167-173.
6. Токтарбаева Г.М., Алпысбаев С.К., Рахадиллов Б.К., Сатбаева З.А., Жапарова М.С., Влияние электролитно-плазменного упрочнения поверхности на структуру и свойства стали 40ХН // Вестник ВКГТУ. – 2020. – № 1. – С. 200-205.
7. Рахадиллов Б.К., Скаков М.К., Сагдолдина Ж.Б., Кенесбеков А.Б. Способ поверхностной закалки стальных изделий: пат. на изобретение РК; МПК C21D 1/09/. Оpubл. 04.06.2018, Бюл. № 20.
8. B.K. Rakhadilov, V.V. Buranich, Z.A. Satbayeva, Zh.B. Sagdoldina, R.S. Kozhanova, A.D. Pogrebnyak, The cathodic electrolytic plasma hardening of the 20Cr2Ni4A chromium-nickel steel // Journal of Materials Research and Technology. – July–August 2020. – Vol. 9, Issue 4. – P. 6969-6976.

Получено 20.08.2020

МРНТИ 27.41.19

Д.Қ. Токсеит, С.А. Боранбаев, Ж.О. Оралбекова, А.Б. Нуржанова

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

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА ПО ГЕОРАДАРНЫМ ДАННЫМ

Разработан алгоритм и программное обеспечение, предназначенное для обработки георадарных данных и визуализации георадиолокационной информации. Проведены серии экспериментов на лабораторном полигоне с использованием георадара. Приведены расчетные формулы и интерактивные способы определения относительной диэлектрической проницаемости, электрической проводимости среды и глубины залегания подповерхностных объектов.

Алгоритм және бағдарламалық қамтамасыз ету геоақпараттық деректерді өңдеу және георадиолокациялық ақпаратты визуализациялау үшін әзірленген. Зертханалық полигонда геораданы қолдану арқылы эксперименттер сериясы өткізілді. Есептеу формулалары және салыстырмалы диэлектрик өткізгіштікті, ортаның электрлік өткізгіштігін және жер асты объектілерінің орналасу тереңдігін анықтаудың интерактивті тәсілдері келтірілген.

The algorithm and software are designed for processing GPR data and visualization of GPR information. A series of experiments were conducted on a laboratory test site using GPR. Calculation formulas and interactive methods for determining the relative permittivity, electrical conductivity of the medium and the depth of occurrence of subsurface objects are given.

Ключевые слова: радарограмма, диэлектрическая проницаемость, электрическая проводимость, глубина залегания подповерхностных объектов.

Одной из основных задач георадарных технологий является интерпретация данных, требующая использования инженерно-технических приемов, суть которых состоит в способах георадарной съемки: «профилирование» и «зондирование». При профилировании радар перемещается вдоль трассы, при каждом измерении передающая и приемная антенны находятся в одной точке трассы, и расстояние между ними значительно меньше длины трассы. При зондировании выбирается одна точка трассы, далее проводится ряд регистраций отраженных сигналов при разносе антенн передатчика и приемника в разные стороны на равные расстояния. В результате получается годограф – функция времени задержки отраженных сигналов от расстояния между передающей и приемной антеннами. Возможен комбинированный способ, когда в каждой точке профиля осуществляется зондирование, а также использование этих методов при площадной съемке [1].

Программа определения геоэлектрического разреза подповерхностных объектов позволяет просмотр профиля и графиков трасс радарограммы. По заданной относительной диэлектрической проницаемости среды определяется глубина залегания подповерхностного объекта и электрическая проводимость среды. Предусмотрено сохранение профиля и графиков в разных форматах.

Экспериментальные исследования. Экспедиция в составе сотрудников Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, в том числе и.о. доцента Оралбековой Ж.О., старшего преподавателя Боранбаева С.А., старшего преподавателя Нуржановой А., и докторанта 3 курса Токсеит Д.К., провела эксперименты на песчаном карьере ТОО «Нур-Сат» в окрестности города Нур-Султан по Кургальджинской трассе. Проведены измерения по приему отраженных сигналов от образцов с известными геофизическими свойствами. Эксперименты выполнены геофизическим комплексом серии «Лоза-В» с разверткой антенны 50 см. Обработка полученных сигналов проводится с помощью программы «КРОТ».

Выбран участок песчаного карьера с размером 8 метров в длину и 8 метров в ширину, с заранее известным геоэлектрическим разрезом (рис. 1). Ниже приведено описание исследуемых объектов.

Объект №1 – «Чистый речной песок». Квадрат с размерами 8 м×8 м размечен линиями вдоль и поперек, получены ячейки с размерами по 1 метру в длину и ширину (рис. 2). Вначале источник находится в точке В0, а антенну выставляем во всех точках квадрата, в том числе и в точке В0. В0-В3 и проводим 45 измерений. Опишем последовательность этих измерений.

1 шаг. Первое измерение провели следующим образом. Источник располагали в (·) А, антенну перемещали вдоль линии (IA) с шагом 1 метр сверху вниз (рис. 1). Затем источник также остается на месте, т.е. в (·) А, а антенну перемещаем вдоль линии (JB) сверху вниз с шагом 1 м таким образом, чтобы индикатор на антенне и индикатор на источнике были строго на одной линии, так как в противном случае сигнал не фиксируется прибором. Аналогично при неподвижном расположении источника в (·) А для других измерений антенну перемещаем вдоль линий (LC), (MD), (NE), (SF), (PG), (QH), (WK) (рис. 1). Так заканчивается площадное измерение относительно неподвижного источника, расположенного в (·) А.

2 шаг. Второе площадное измерение, проводим следующим образом: перемещаем источник в точку В, и фиксируем все сигналы, полученные при перемещении антенны вдоль линий: (IA), (JB), (LC), (MD), (NE), (SF), (QH), (WK) и т.д. (см. рис. 1).

3 шаг. Расположим источник в (·) К и фиксируем все сигналы, перемещая антенну вдоль линий (WK), (QH), (PG), (SF), (NE), (MD), (LC), (JB), (IA) (рис. 1).

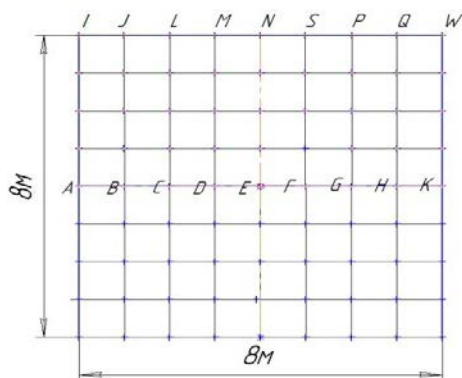


Рисунок 1 – Однородная среда – чистый речной песок



Рисунок 2 – Схема измерений

Объект №2 – «Звезда – 16 лучей». На песчаном участке в форме окружности с радиусом 4 м, в центре, на глубине 0,4 м от поверхности, помещена соляная масса весом 50 кг, которой придана форма конуса (купола) с размерами: высота конуса – 0,5 м, диаметр окружности основания конуса – 0,64 м. Схема участка в форме окружности приведена на рис. 3. Здесь 16 лучей, $R=4$ м, $r_1=1$ м, $r_2=2$ м, $r_3=3$ м, $r_4=4$ м. Измерение проводим по каждому лучу с шагом 1 метр, при этом источник неподвижен и располагается в центре окружности (рис. 4).

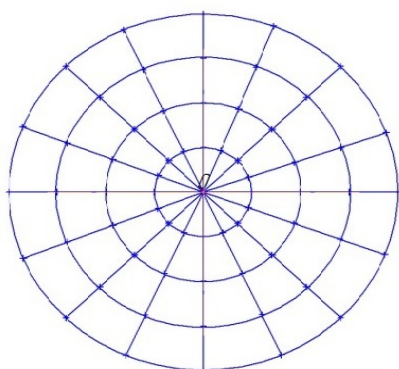


Рисунок 3 – Объект №2 – «Звезда -16 лучей»



Рисунок 4 – Схема объекта

Объект № 3 – «Один глубинный водно-соленый купол». На квадратном песчаном участке с размерами 8 метров в длину и 8 метров в ширину следующим образом построен объект: в точке (·) Е на глубине 1 метр закопана труба с диаметром сечения 0,1 метр. В трубу залито 50 литров соляного раствора воды (36 %), таким образом на глубине 1 метра образуется водно-соляной купол.

Общая схема измерений: проведено площадное измерение с антенной 50 см, источник располагали в точках: А, В, С, D, E, F, G, H, K, антенну – в вершинах ячеек.

Обработка сигналов, излучаемых источником радара. Эксперимент проводился с помощью георадара серии «Лоза-В». Полученные данные георадар сохраняет в Формат *.TXT. Каждая строка имеет три значения, разделенные символом | ; |.

Первая строка: X; T; ALn1 или ALg.

1. X – номер измерения от начала профиля (0 – 51200);
2. T – время фиксирования значения амплитуды сигнала (0 – 256,...4096 ns) с шагом 0,5 нс;
3. ALn1 – если в опциях установлен Линейный режим, значение амплитуды сигнала (0...32768...65535), значение 32768 можно считать 0 амплитуды;

4. Lg – если в опциях установлен Логарифмический режим, значение амплитуды сигнала (0...64...127), значение 64 можно считать 0 амплитуды.

Наш эксперимент основан на амплитудном ALG-формате, антенной длиной 50 см. Каждое измерение проводилось в 45 точках, каждая точка дает 512 данных в бинарном формате. То есть в одном случае записываются данные от 0 до 99, каждое значение $x = 0$ равен 512 данных. Полученные амплитуды записываются с шагом 0,5 нс. На основе полученных данных радарограммы были созданы алгоритмы по переводу данных из бинарного формата в текстовый и построены графики с помощью языка программирования Python. На рис. 5 показана обработанная радарограмма объекта №1.

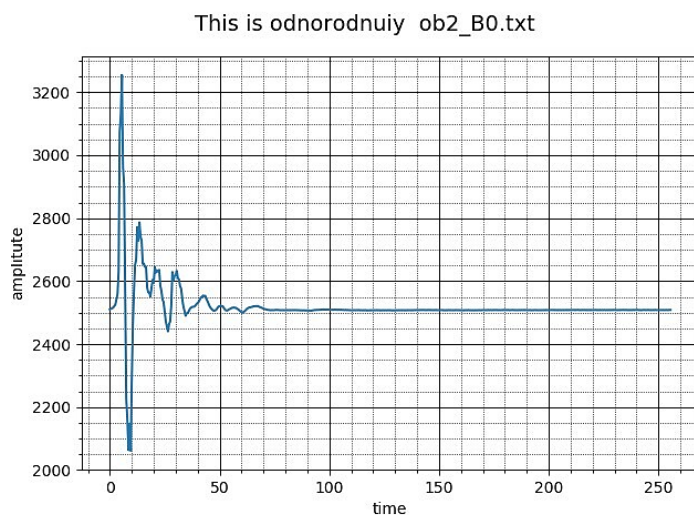


Рисунок 5 – График радарограммы объекта № 1

Обработанные радарограммы объекта №2 и №3 показаны на рис. 6 и рис. 7.



Рисунок 6 – График радарограммы объекта №2

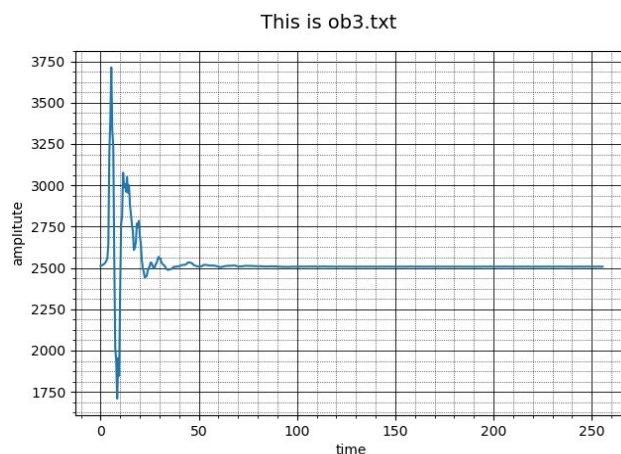


Рисунок 7 – График радарограммы объекта №3

Интерактивные способы определения геоэлектрического разреза. Построение профиля. Георадарное обследование выполняется в виде серии измерений в отдельных точках, расположенных на профиле. Полученные при каждом отдельном измерении трассы формируют радарограмму. Радарограмма представляет собой графическое изображение, построенное методом переменной плотности, у которого координаты каждого пикселя обозначают соответственно: абсцисса – расстояние от начала профиля, ордината – время прихода сигнала. Амплитуды сигналов на радарограмме кодируется цветом из заданной палитры цветов (рис. 8) или в градациях серого цвета. Местоположение подповерхностного объекта определяется вершиной гиперболы, построенной по точкам максимальных значений амплитуд каждой трассы [1, 2].

Расчет глубины залегания подповерхностного объекта в программе осуществляется выбором параметра «Глубина». После ввода пользователем значения относительной диэлектрической проницаемости среды программа вычисляет расстояние от антенны до подповерхностного объекта (рис. 8).

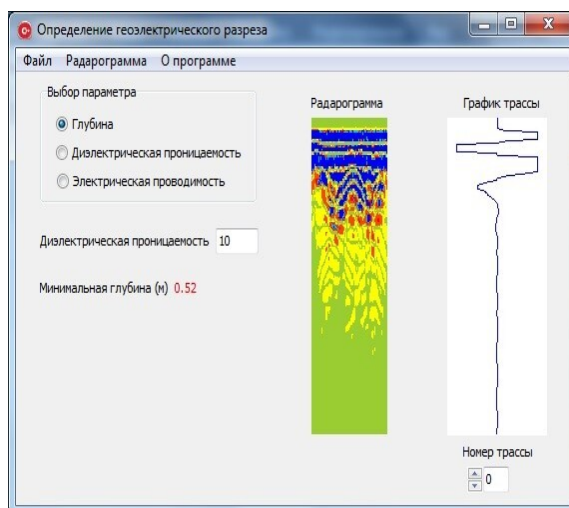


Рисунок 8 – Диалоговый экран расчета глубины залегания подповерхностного объекта

Для обнаружения объекта георадиолокационным методом необходимо, чтобы объект заметно отличался от вмещающего грунта по электрическим характеристикам (по диэлектрической проницаемости или проводимости).

В грунте скорость электромагнитных волн уменьшается, поскольку она зависит от относительной диэлектрической проницаемости ϵ_r , относительной магнитной проницаемости μ_r и проводимости среды σ . Скорость электромагнитных волн в среде определяется следующей формулой [3]:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r \frac{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon}\right)^2}}{2}}},$$

где c – скорость электромагнитной волны в вакууме (0,3 м/нс), $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ – диэлектрическая проницаемость и ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость в свободном пространстве ($8,854 \cdot 10^{12}$ Ф/м), выражение $\sigma/\omega\epsilon$ – коэффициент потерь, $\omega = 2\pi f$ – угловая частота, где f – частота. В немагнитных ($\mu_r = 1$) материалах с малыми потерями, таких как чистый песок и гравий, где $\sigma/\omega\epsilon \approx 0$, скорость электромагнитных волн вычисляется по формуле:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}.$$

При заданной относительной диэлектрической проницаемости среды расстояние от антенны до объекта вычисляется по формуле:

$$h = \frac{vt_{min}}{2} = \frac{ct_{min}}{2\sqrt{\epsilon_r}},$$

t_{min} определяется как минимальное время прихода радиосигнала, выбранное из всех трасс с максимальной амплитудой.

Расчет относительной диэлектрической проницаемости среды в программе осуществляется выбором параметра «Диэлектрической проницаемости» (рис. 9).

При заданной глубине залегания подповерхностного объекта относительная диэлектрическая проницаемость среды вычисляется по формуле:

$$\epsilon_r = \left(\frac{ct_{min}}{2h}\right)^2.$$

Расчет электрической проводимости среды в программе осуществляется выбором параметра «Электрической проводимости» (рис. 10).

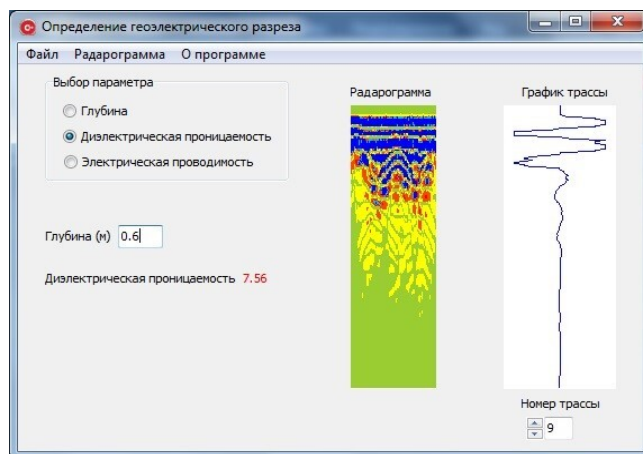


Рисунок 9 – Диалоговый экран расчета относительной диэлектрической проницаемости среды

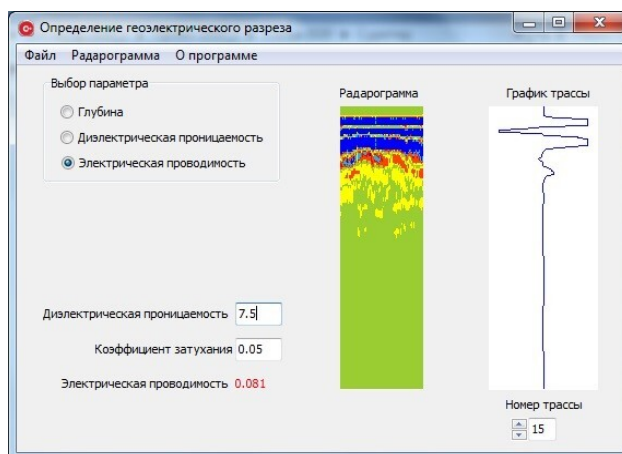


Рисунок 10 – Диалоговый экран расчета электрической проводимости среды

Электрическая проводимость σ , согласно [4], связана с относительной диэлектрической проницаемостью среды и затуханием электромагнитных волн следующим образом.

$$\sigma = \frac{\infty \sqrt{\varepsilon_r}}{1,69},$$

где ∞ – коэффициент затухания радиоимпульса в подповерхностной среде.

Приведены расчетные формулы и интерактивные способы определения относительной диэлектрической проницаемости, электрической проводимости сред и глубины залегания подповерхностных объектов. Составлены программы, выполняющие следующие функции: ввод данных из файла радарограммы; визуализация профиля радарограммы; определение глубины залегания подповерхностного объекта; определение относительной диэлектрической проницаемости среды; определение электрической проводимости подповерхностной среды; сохранение профиля радарограммы в различных форматах; просмотр графика трассы радарограммы; сохранение графика трассы радарограммы в различных форматах.

Относительная погрешность вычисления определяемых параметров геологического разреза находится в пределах 5-8 %.

На программу получено авторское свидетельство «Интерпретация радарограмм геологического разреза на основе экспериментальных расчетных формул» № 9319 от 20.04.2020 г. [5].

Работа поддержана грантом МОН РК по договору № 132 от 12.03.18, ИРН AP05133922.

Список литературы

1. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ. – 2004. – 153 с.
2. Harry M. Jol. Ground Penetrating Radar: Theory and Applications // Elsevier Science. – 2009. – 402 p.
3. Исаков К.Т., Боранбаев С.А., Оралбекова Ж.О., Ұзаққызы Н. Разработка алгоритмов и программного обеспечения обработки георадарных данных // Вестник ВКТУ им. Д. Серикбаева. – 2018. – № 4. – С. 13-20.
4. Wightman W.E., Jalinoos F., Sirls F., Hanna K. Application of Geophysical Methods to Highway Related Problems. Federal Highway Administration, Central Federal Lands Highway Division, Lakewood, CO, Publication. – No.FHWA-IF-04-021, 2003.
5. Токсеит Д.К., Исаков К.Т., Боранбаев С.А. Интерпретация радарограмм геологического разреза на основе экспериментальных расчетных формул: А.с. № 9319 от 20.04.2020.

Получено 21.08.2020

МРНТИ 50.01.94

З.Т. Хасенова¹, А.Т. Тойбеков², А.Т. Кусаннова³¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск²Товарищество с ограниченной ответственностью «QAZLINE», г. Нур-Султан³Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ**

На сегодняшний день загрязнение воздуха становится локальной проблемой многих городов, которая переросла в глобальную. Для решения таких экологических проблем в статье приведены результаты исследований, разработок (модели, алгоритмы, программы) на примере г. Алматы.

Бүгінгі таңда ауаның ластануы көптеген қалалардың жергілікті мәселесінен аламдық мәселеге айнауда. Мұндай экологиялық мәселелерді шешу үшін мақалада Алматы қаласының мысалында зерттеу, әзірлемелер (модельдер, алгоритмдер, бағдарламалар) нәтижелері келтірілген.

Today, air pollution is becoming a local problem in many cities, which has grown into a global one. To solve such environmental problems, the article presents the results of research, development (models, algorithms, programs) on the example of Almaty.

Ключевые слова: экологические проблемы, информационные системы, усвоение данных.

Введение. Экосистема нашей Республики, и мира в целом, состоит из множества переплетенных и часто взаимодействующих между собой сложных систем и сетей. Экологические проблемы вынуждают искать способы контроля за окружающей средой, чтобы заранее распознать экориски и по возможности минимизировать их последствия. Одним из них является набирающее популярность направление – создание информационных систем, работающих в реальном времени, позволяющих осуществлять как мониторинг и анализ состояния экосистемы в целом, так и решать конкретные задачи по устранению негативного воздействия на нее человека. Согласно направлению государственной программы «Цифровой Казахстан», утвержденной Правительством Республики Казахстан (РК) № 827 от 12.12.2017 года [1], сфера охраны окружающей среды нуждается в оперативной, достоверной и полноценной информации. В связи с этим вопросы автоматизации имеют важное стратегическое значение для Республики Казахстан, так как в дальнейшем результаты деятельности в области охраны окружающей среды будут складываться не только от состояния материальной базы, квалификации персонала, но и от достоверности и оперативности представления всей экологической информации [2].

Одним из перспективных направлений решения проблем загрязнения окружающей среды является разработка экосистем, работающих в реальном времени. Например, при анализе данных в Google Trends построен график изменений популярности запросов «экологическая проблема» и «ИТ в экологии» в Казахстане за последние 5 лет (рис. 1), наглядно видно, что запрос «экологическая проблема» является популярным, особенно в 2020 году, в отличие от «ИТ в экологии».

Научными сотрудниками Евразийского национального университета им. Л. Гумилева в рамках научно-исследовательского проекта «Разработка новой информационной системы и базы данных для оптимизации мониторинга загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами» разрабатывается информационная система для оптимизации мониторинга загрязнения атмосферного воздуха с помощью современных методов вычислительной математики и высокопроизводительных ИТ технологий [3]. В частности, рассмотрен самый автомобилизированный регион страны – г. Алматы, в котором на начало 2020 года население города составляло 1 916 822 человек. По данным Комитета по статистике Министерства национальной экономики РК (КС МЭН РК) на крупнейшие города нашей страны Алматы и Нур-Султан – приходится 19 % от всех легковых автомобилей страны [4]. В целом по г. Алматы эксплуатируется порядка 700 тыс. единиц автотранспорта, с учетом иногородних, транзитных и т.д. По имеющимся данным количество иногороднего транспорта, ежедневно въезжающего на территорию г. Алматы, в среднем составляет около 90 тыс. единиц [5].

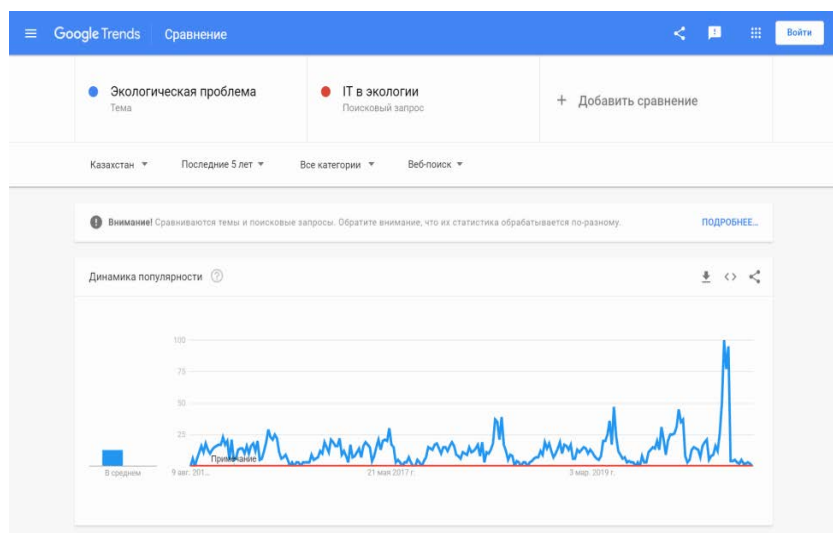


Рисунок 1 – Анализ данных в Google Trends

Для реализации поставленной цели проекта были изучены возможные площадки для отбора проб воздуха в г. Алматы для определения степени загрязнения атмосферного воздуха города. Далее проведен отбор проб воздуха и химический анализ содержания в них Cd, Pb, As, Cr и Cu на нескольких квадратах улиц г. Алматы [6]. На базе данных мониторинга была создана научная основа моделирования мезометеорологических атмосферных процессов для города. Полученные данные позволяют оценить экологическое состояние воздуха приземного слоя атмосферы г. Алматы, а также провести локальный прогноз загрязнения воздуха с учетом мезометеорологических факторов и фотохимических трансформаций. Таким образом, анализ показал, что загрязнение тяжелыми металлами присутствовало в воздухе, и их содержание было выше зимой по сравнению с весенне-летними месяцами. По состоянию загрязнения воздуха тяжелыми металлами низинная часть города оказалась более загрязненной по сравнению с верхней, что связано с естественной аэродинамикой города [6-7].

Для отобранного проб воздуха была создана база данных по загрязнению воздуха г. Алматы тяжелыми металлами (рис. 2).

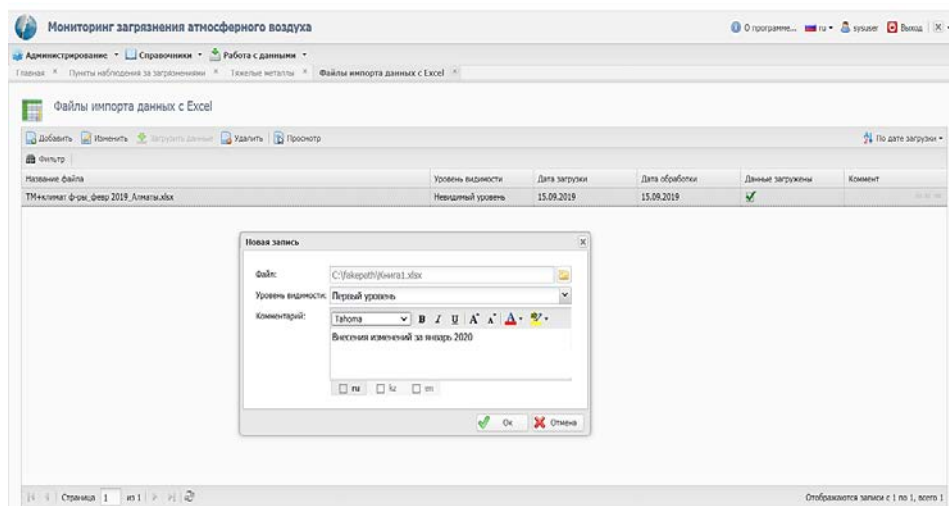


Рисунок 2 – Работа с данными в системе

Математически обоснованный локальный прогноз загрязнения воздуха с учетом мезометеорологических факторов, фотохимических трансформаций. В ходе выполнения проекта было проведено исследование вариационных алгоритмов последовательного усвоения данных в реальном времени [8-13]. Задача реализована совместно с зарубежными учеными лаборатории «Математического моделирования гидродинамических процессов в природной среде» ИВМиМГ СО РАН (Новосибирск). В работе [12] авторами описана задача моделирования процессов переноса примесей для г. Алматы с учетом географического расположения, рельефа местности и транспортных выбросов во время «пробок». По данным системы мониторинга изучена эффективность прямого алгоритма вариационного усвоения данных с квази-независимым усвоением данных на отдельных шагах схемы расщепления. Для работы в условиях редкой измерительной сети рассмотрен алгоритм с минимизацией в составе целевого функционала пространственной производной функции неопределенности (управления), за счет которой и производится усвоение данных.

В работе [12] рассмотрена модель переноса примесей в атмосфере:

$$\frac{\partial \varphi(\vec{x}, t)}{\partial t} + \operatorname{div}(\varphi(\vec{x}, t) \vec{u}(\vec{x}, t) - \mu(\vec{x}, t) \operatorname{grad} \varphi(\vec{x}, t)) = f(\vec{x}, t) + r(\vec{x}, t), \quad (\vec{x}, t) \in D \times (0, T),$$

$$\mu(\vec{x}, t) \frac{\partial \varphi(\vec{x}, t)}{\partial \vec{n}} = 0, \quad (\vec{x}, t) \in \Gamma_{out}, \quad \varphi(\vec{x}, t) = \varphi_b(\vec{x}, t), \quad (\vec{x}, t) \in \Gamma_{in},$$

$$\varphi(\vec{x}, t) = \varphi_0(\vec{x}), \quad \vec{x} \in D, \quad t = 0.$$

Здесь φ – концентрация примеси [кг/м³], \vec{u} (u, v, w) – вектор скоростей ветра [м/с], μ_h – горизонтальный коэффициент диффузии [м²/с], μ_v – вертикальный коэффициент диффузии [м²/с], φ_b – фоновые значения концентраций [кг/м³], φ_0 – начальные распределения концентраций [кг/м³]. Функция f характеризует мощность источника примесей. Переменная r соответствует функции неопределенности, добавляемой в модель для усвоения данных. $D = (0, X) \times (0, Y) \times (0, Z)$, $X, Y, Z > 0$ – область в пространстве, Γ_{out} – часть границы области $\partial D \times (0, T)$, на которой вектор скорости ветра направлен наружу из области, Γ_{in} – часть границы, на которой вектор скорости ветра направлен внутрь области.

Для удобства работы с коэффициентами динамической 3-х мерной модели переноса примесей написана программа на языке Python. Для замыкания модели динамики атмосферы используются следующие параметризации: k - ε модель турбулентной диффузии; параметризация приземного слоя с расчетом подстилающей поверхности температуры; параметризация фазовых переходов для компонентов влаги (пар, облачная и дождевая вода). Выходные поля выдаются в виде текстовых файлов. Входной файл состоит из двух файлов: файл коэффициентов; файл данных измерений. Эти файлы являются входными данными для алгоритма усвоения данных в виде файлов формата NetCDF. Для расчета используется файл коэффициентов, который состоит из следующих полей: поля горизонтальной ($\mu_{Horizontal}$) и вертикальной ($\mu_{Vertical}$) диффузии; трехмерные поля скоростей ветра (u, v, w); начальные распределения концентраций (init); фоновые значения концентраций (background); данные о пространственно-временных сетках (xPoints, yPoints, zPoints, Times); географическая привязка сеток (lat, lon); информация о рельефе (reliefHeightIndex). Используемый файл коэффициентов представлен с помощью программы Panoply (рис. 3).

Для решения задачи усвоения данных по данным г. Алматы подготовлен сценарий обратного моделирования с учетом конфигурации источников и системы мониторинга г. Алматы и проведено моделирование процессов переноса примесей с усвоением данных на основе трёхмерной модели. Результат математически обоснованного локального прогноза загрязнения воздуха с учетом мезометеорологических факторов, фотохимических трансформаций представлен на рис. 4.

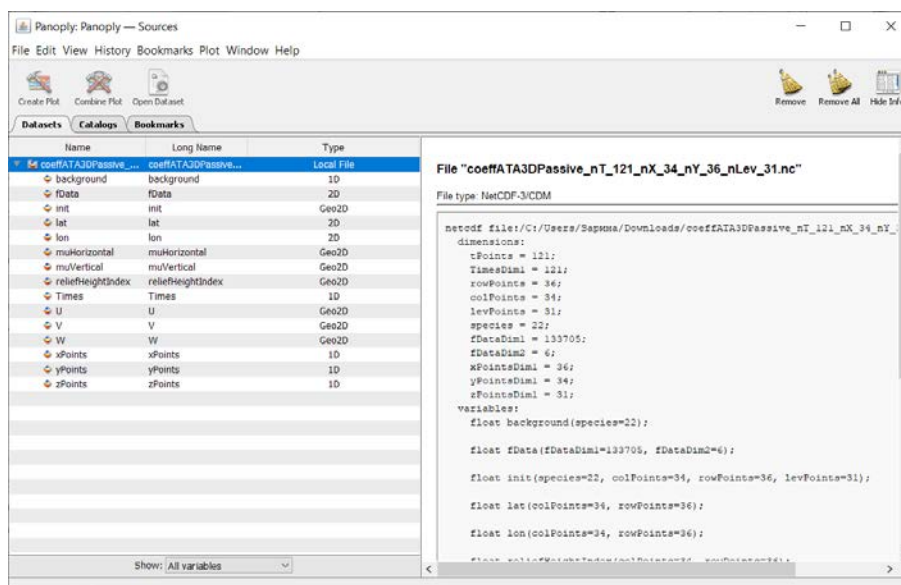


Рисунок 3 – Файл коэффициентов

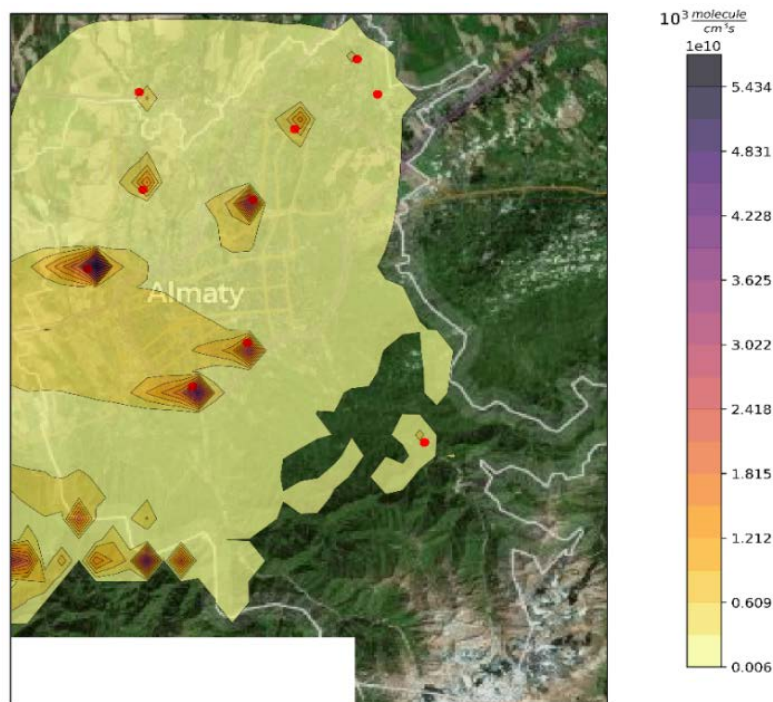
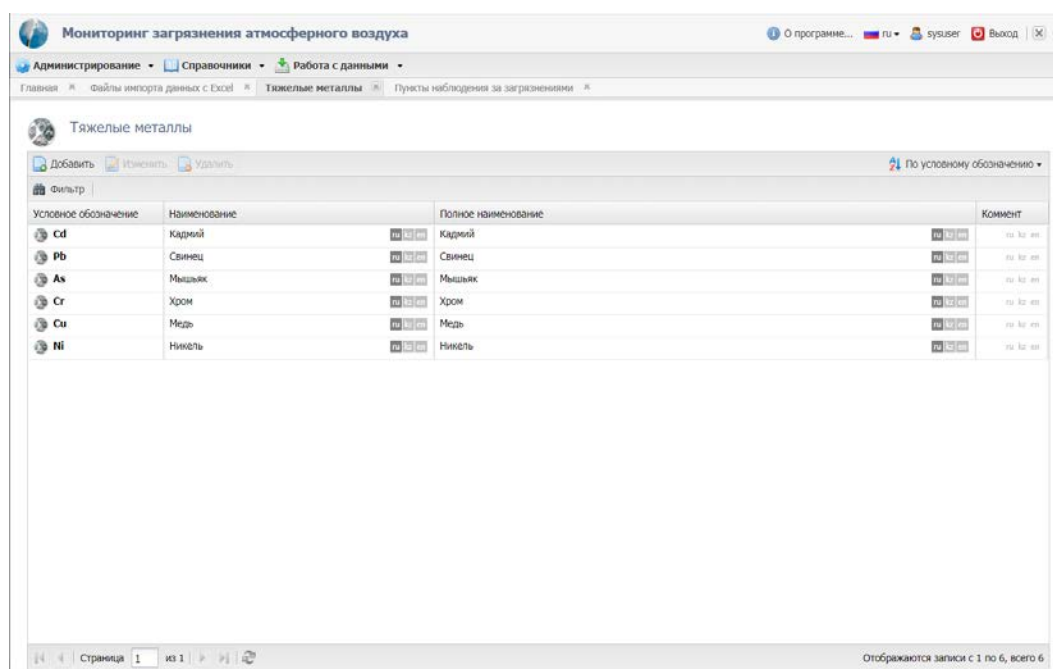


Рисунок 4 – Результат локального прогноза загрязнения воздуха с учетом мезометеорологических факторов

Человеко-машинный интерфейс для программных средств визуализации результатов мониторинга загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами. При разработке серверной части использовались Java, Groovy. Они являются объектно-ориентированными языками программирования и платформами вычисления и работают разными библиотеками. При разработке клиентской части использовались технологии: Cascading Style Sheets

(формальный язык описания внешнего вида документа, написанного с использованием языка разметки), Hyper Text Markup Language (язык для структурирования и представления содержимого всемирной паутины), JavaScript (язык программирования, используемый как встраиваемый язык для программного доступа к объектам приложений), Ext JS (библиотека JavaScript для разработки веб-приложений и пользовательских интерфейсов). Для создания системы выбрана IntelliJ IDEA, которая является средой интегрированной разработки программного обеспечения (ПО). База данных разработана с использованием системы управления базами данных MS SQL Server 2008. Сервер имеет возможности для удаленного администрирования и управления операциями, организованные на основе объектно-ориентированной среды распределенного управления. В качестве Web-клиента используется широко распространенные браузеры (рис. 5).

Полученные разработки (модели, алгоритмы, программы) возможно использовать как экспортные продукты для других городов и стран.



Условное обозначение	Наименование	Полное наименование	Коммент
Cd	Кадмий	Кадмий	
Pb	Свинец	Свинец	
As	Мышьяк	Мышьяк	
Cr	Хром	Хром	
Cu	Медь	Медь	
Ni	Никель	Никель	

Рисунок 5 – Окно Web-клиента

Заключение. Таким образом, в результате работы была создана информационная система для оптимизации мониторинга загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами с позиции скорости, доступности, эффективности и точности; проведена оценка состояния атмосферы города современными математическими методами и составлен локальный прогноз по изменению приземного слоя атмосферы. Предполагается рекомендовать полученные результаты на основе информационно-коммуникационных технологии не только в г. Алматы для филиала «КазГидромет», но и для мониторинга воздуха крупных промышленных городов РК (Усть-Каменогорск, Караганда и др.).

Работа поддержана грантом МОН РК по договору № 132 от 12.03.18, ИРН AP05135992.

Список литературы

1. Постановление Правительства Республики Казахстан от 12 декабря 2017 года № 827 Об утверждении Государственной программы «Цифровой Казахстан» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 20.12.2019 г.).

2. Кодекс Республики Казахстан от 9 января 2007 года № 212-III «Экологический кодекс Республики Казахстан» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 26.12.2019 г.)
3. Разработка новой информационной системы и базы данных для оптимизации мониторинга загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами: отчет по НИР. – 2018. – 75 с. – № ГР 0118РК00600.
4. Министерство национальной экономики Республики Казахстан Комитет по статистике. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://stat.gov.kz/> (дата обращения 25.06.2020).
5. Официальный интернет ресурс города Алматы. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://almaty.gov.kz/page.php?page_id=4195 (дата обращения 25.06.2020).
6. Mynbayeva B.N., Oralbekova Zh.O., Isabayeva D. N., Iskakov K.T., Khassenova Z.T. An employment of mathematical toolkit for ecological information processing during heavy metals pollution monitoring in particular reference to Almaty city's atmosphere // In: Conference proceeding: 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM, 30 June – 9 July, 2018. – Bulgaria, Varna. – 2018. – Vol. 18: Ecology, Economics, Education and Legislation. Issue: 5.1. Ecology and Environmental Protection. – P. 27-34. – DOI: 10.5593/sgem2017/52/S20.055
7. Khassenova Z., Kussainova A., Oralbekova Zh., Iskakov K. Development of the modules of information system monitoring atmospheric air for industrial city // 5th International conference on computational and experimental science and engineering (ICCESEN-2018), Antalya-Turkey, 12-16 October 2018. – P.326.
8. Пененко А.В., Пененко В.В. Прямой метод вариационного усвоения данных для моделей конвекции-диффузии на основе схемы расщепления // Вычислительные технологии. – Vol. 19. – 2014. – Pp. 69-83.
9. Penenko A.V., Penenko V.V., Tsvetova E.A. Sequential data assimilation algorithms for air quality monitoring models based on a weak-constraint variational principle // Numerical Analysis and Applications. – Vol. 9, Oct 2016. – Pp. 312-325.
10. Penenko V.V., Penenko A.V., Tsvetova E.A. Variational approach to the study of processes of geophysical hydro-thermodynamics with assimilation of observation data // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. – Vol. 58, 2017. – Pp. 771-778.
11. Penenko A., Penenko V., Mukatova Z. Direct data assimilation algorithms for advection-diffusion models with the increased smoothness of the uncertainty functions // 2017 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). – Sep 2017. – pp. 126-130.
12. Penenko A.V., Khassenova Z.T., Penenko V.V., Pyanova E.A. Numerical study of a direct variational data assimilation algorithm in Almaty city conditions // Eurasian journal of mathematical and computer applications. ISSN 2306-6172. – 2019. – Vol. 7, Issue 1. – P. 53-64
13. Khassenova, Z.T., Kussainova, A.T. Applying data assimilation on the urban environment (2019) Communications in Computer and Information Science, 998. – Pp. 125-134. – DOI: 10.1007/978-3-030-12203-4_12.

Получено 21.08.2020



МРНТИ 78.25.23

М.Ж. Купенов

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

СОВРЕМЕННЫЕ БОЕВЫЕ РОБОТЫ

В статье рассматриваются вопросы классификации, особенности устройства и боевого применения роботизированных систем, производимых в зарубежных странах и России. Содержание данной статьи может быть полезным для студентов и сотрудников университета при проведении научно-исследовательских работ и для расширения кругозора.

Мақалада шетелдерде және Ресейде өндірілетін роботталған жүйелерді жіктеу, орнату ерекшеліктері және жауынгерлік қолдану мәселелері қарастырылады. Бұл мақаланың мазмұны ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізу және ой-өрісін кеңейту кезінде университет студенттері мен қызметкерлері үшін пайдалы болуы мүмкін.

The article deals with the classification, features of the device and combat use of robotic systems produced in foreign countries and Russia. The content of this article can be useful for students and University staff in conducting research and expanding horizons.

Ключевые слова: роботизированные системы, разведывательные работы, боевой робот, мобильный роботизированный комплекс.

Виды современных военных наземных роботов. Современные наземные военные роботы можно разделить на следующие группы:

- разведывательные;
- инженерные;
- боевые;
- тыловые.

Для многих автоматизированных аппаратов подобное разделение несколько условно. Они представляют собой унифицированные платформы, на которые в зависимости от их назначения устанавливаются те или иные модули, легко превратив робота-сапера в боевого робота.

Военные роботы можно условно разбить на три большие группы:

- 1) легкие – боевой массой до 3,32 т.;
- 2) средние – от 3,32 до 13 т.;
- 3) тяжелые – свыше 13 тонн.

Военный робот состоит из аппарата, управляемого дистанционно, и пульта, с которого происходит управление.

В настоящее время человечество четко осознало, что применение роботов (даже обладающих искусственным интеллектом) требует наличия оператора (центра управления), робота (семейства роботов), средств коммуникации, транспортных средств (для доставки роботов в заданный пункт) и обеспечивающих служб. Таким образом пришли к понятию мобильный робототехнический комплекс (МРК).

Роботизированные механизмы отличаются по степени автономности, они могут в большей или меньшей степени следовать вложенной программе и обходиться без постоянного вмешательства человека. Уже сегодня существует десятки видов чисто военных роботов, различающихся своими размерами, формой корпуса, шасси, наличием разнообразных манипуляторов.

Военные роботы в наши дни – это автоматизированные или дистанционно управляемые платформы.

Разведывательные роботы. Автоматизированные системы давно используются для сбора разведанных, поиска целей и целеуказания, наблюдения за обстановкой. Для таких целей используются и беспилотные летательные аппараты, и наземные роботы.

Одним из самых миниатюрных роботов-разведчиков, используемых сегодня армией США в Афганистане, является Recon Scout. Он имеет вес 1,3 кг и длину 200 мм, оборудован обычной и инфракрасной камерой. Этому робота можно забрасывать за препятствия, но передвигаться он может только по сравнительно ровной поверхности.

Еще одним представителем группы роботов-разведчиков является First Look 110. Он весит 2,5 кг, имеет гусеницы и управляется с пульта, размещенного у оператора на запястье. Робот оснащен четырьмя камерами и может преодолевать небольшие препятствия. На него можно устанавливать другие датчики: тепловизоры, индикаторы биологического, химического и радиационного заражения.

Еще одной дистанционно управляемой машиной, активно применяемой в армии США для разведывательных миссий, является Dragon Runner. Этот робот также оснащен гусеничным шасси, он предназначен для передней линии боевых действий. Dragon Runner переносится в ранце, его можно забрасывать через любые препятствия.



Рисунок 1 – Dragon Runner

Самым массовым американским военным роботом (выпущено более 3 тыс. штук) является TALON, разработанный компанией Foster-Miller. Данный робот прекрасно подходит не только для разведки, но и для обезвреживания взрывных устройств. Именно TALON активно применяли для разведки пещер, где прятались талибы, на счету этого робота 50 тыс. обезвреженных взрывных устройств. Американскими военными была создана модификация робота, на которую можно устанавливать пулемет, снайперскую винтовку или ПТРК. Стреляет TALON со снайперской точностью.



Рисунок 1 – TALON

Грань между разными группами военных роботов зачастую довольно тонка: автоматизированная система может и проводить разведку, и обнаруживать мины, и непосредственно участвовать в боевых действиях.

Инженерные роботы. Инженерные роботы используются для обезвреживания мин и фугасов, создания проходов в минных полях, подъема тяжестей и расчистки завалов.

Важной тенденцией в развитии подобных машин стало увеличение их массы, что позволило привлекать дистанционно управляемые машины для более серьезных работ. В США сейчас все инженерные машины управляются дистанционно.

Типичным примером подобной техники является инженерная машина MV-4 (или M160). Ее масса составляет 5,32 т, она имеет гусеничное шасси и используется для обезвреживания боеприпасов и мин на глубине до 320 мм. Управлять MV-4 можно с дистанции в два километра, что делает работу саперов полностью безопасной.

Еще более тяжелой инженерной машиной с дистанционным управлением является ABV (Assault Breacher Vehicle), которая по своей массе и броневой защите сравнима с американским основным боевым танком «Абрамс». ABV оборудована минным тралом и зарядами для разминирования, она может ставить дымовые завесы. Сейчас в США работают над полностью автономной модификацией машины.

Одним из самых известных роботов для разминирования является MarkV-A1, созданный американской компанией Northrop Grumman Corporation. На нем установлены несколько видеокамер, а также водяная пушка для уничтожения бомб. В настоящее время MarkV-A1 используется специальными подразделениями США, Израиля и Канады.



Рисунок 3 – MarkV-A1

Существует огромное количество небольших саперных роботов, которые активно используются не только военными, но и полицейскими и специальными службами.

Боевые роботы. Наибольший интерес у общественности вызывают боевые роботы. Однако эта группа наземных автоматизированных машин пока еще не слишком развита. Современный бой очень сложен, скоротечен, и решения нужно принимать моментально, быстро менять свою позицию. Все это у современных автоматизированных систем пока получается не очень хорошо.

Большинство боевых роботов сегодня имеют колесное или гусеничное шасси, они управляются через кабель или радиосигнал.

Одним из наиболее известных боевых автономных систем является израильский беспилотный автомобиль Guardium, которые используются для несения патрульной службы, охраны и сопро-

вождения колон, а также для ведения разведки. Автомобиль создан на шасси багги, имеет хорошую скорость и проходимость, на него можно устанавливать оружие. Guardian был принят на вооружение Армии обороны Израиля в 2009 году.



Рисунок 4 – Guardian

Самым массовым и весьма узнаваемым боевым роботом является уже упомянутый TALON, а вернее, созданный на базе этой платформы робот SWORDS, способный нести снайперскую винтовку, гранатомет и пулемет.



Рисунок 5 – SWORDS

Еще одним роботом, который может вести огонь по противнику, является Warrior, созданный американской компанией iRobot. На него можно установить пулемет калибра 7,62 мм, автоматический дробовик, ПТРК и другое оружие. Warrior можно использовать и в качестве сапера, он может выносить раненых с поля боя.



Рисунок 6 – Warrior

В 2010 году компания Northrop Grumman представила еще одну свою разработку – боевого робота CAMEL. Это плоская платформа на колесном ходу, которая кроме вооружения может нести еще и 550 кг груза. На колеса можно надевать резиновые гусеницы, что значительно повышает проходимость CAMEL по пересеченной местности. Робот может сопровождать боевые подразделения и двигаться автономно, ориентируясь по сигналам GPS.



Рисунок 7 – CAMEL

Самым крупным боевым роботом на сегодняшний день является Black Knight, разработанный компанией BAE Systems (США). Машина на гусеничном ходу, имеет вес 9,5 т, вооружена 30 мм автоматической пушкой и спаренным с ней пулеметом. Робот оборудован телекамерами, тепловизорами, РЛС, системой спутниковой навигации. Управление Black Knight производится из специальной командной машины или из БМП Bradley.



Рисунок 8 – Black Knight

Тыловые роботы. Отдельную группу составляют роботы, предназначенные для перевозки грузов, в том числе и в районе боевых действий. Подобные системы должны сопровождать бойцов и перевозить часть их боекомплекта, тяжелое вооружение и другие грузы. Почти все подобные роботы могут выполнять и дополнительные функции: разведку или эвакуацию раненых. Примерами подобных машин являются SMSS, R-Gator и TRAKKAR.



Рисунок 9 – SMSS

Отдельно стоит упомянуть американский робот-носильщик BigDog, который передвигается на четырех конечностях и теоретически может пройти там, где не способна передвигаться колесная техника. Но эта разработка пока является экспериментальной.

Российские боевые роботы. Россия имеет неплохой задел в этом направлении, хотя и есть некоторое отставание в системах связи и управления. Центрами российской робототехники являются ОАО «Ижевский радиозавод», МГТУ им. Баумана, НИТИ «Прогресс» (г. Ижевск).

На ижевском радиозаводе была создана универсальная роботизированная платформа МРК (мобильный роботизированный комплекс), которая в зависимости от комплектации может выполнять различные функции. Этот робот невелик, но располагает весьма внушительным арсеналом: двумя гранатометами, двумя реактивными огнеметами «Шмель», пулеметом «Печенег» или «Корд». Мобильным роботизированным комплексом можно дистанционно управлять на расстоянии в 500 метров. Робот оснащен видеокамерой, микрофоном, системой освещения.



Рисунок 10 – Мобильный роботизированный комплекс (МРК)

Как и большинство других современных боевых роботов, МРК является универсальной платформой, на которую можно устанавливать дополнительное оборудование и вооружение.

Еще одной российской боевой автоматизированной системой является «Платформа-М». Она разработана в НИТИ «Прогресс» и впервые была показана публике в 2019 году. Платформа может быть использована для разведки (есть видеокамеры, тепловизор, РЛС, дальномер), патрулирования местности, поддержки штурмовых подразделений.

«Платформа-М» может быть вооружена автоматическим гранатометом, пулеметом, противотанковым ракетным комплексом (ПТРК). Вес машины составляет 800 кг, полезная нагрузка – 300 кг. Управлять «Платформой» можно на дистанции до 5 км.

Есть информация о том, что данная машина применяется российскими войсками в Сирии.

Наиболее тяжелой российской роботизированной боевой системой является «Уран». Вес этой машины достигает восьми тонн. На базе «Урана» создана машина огневой поддержки, минный трал и пожарная машина. «Уран» неоднократно принимал участие в различных учениях.



Рисунок 11 – Многофункциональный робототехнический комплекс «Уран»

В 2019 году Рособоронэкспорт заявил о начале продвижения на мировом оружейном рынке российского автоматизированного комплекса «Уран-9».



Рисунок 12 – Уран-9

О перспективах военных роботов. Робототехнике уделяют особое внимание во всем мире. Только за последние несколько лет Пентагон выделил на разработку военных роботов 4 млрд долларов. В настоящее время еще нельзя сказать, что робототехника сильно влияет на сферу обороны и национальной безопасности. Однако все может измениться очень быстро.

Разработка автоматизированных систем находится на переднем крае науки и развития технологий. Чтобы создать по-настоящему эффективного боевого робота, нужно решить множество сложнейших технических задач. Это и разработка принципиально новых источников энергии, мощных и компактных, и создание совершенных датчиков, и обеспечение более надежной связи.

Список литературы

1. aleksandr.belozеров@gmail.com
2. Анатолий Черкашин. Вооружение и военная техника, 17.05.17
3. Материалы сайта Википедии – свободной энциклопедии; публикация «Боевой робот».
4. Техника и вооружение. – 2009. – № 2/4.

Получено 21.07.2020

МАЗМҰНЫ

ЖЕР ТУРАЛЫ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ
ГЕОГРАФИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР

- Асанов Д.А., Запасный В.В., Еркинбеков М.Е., Ткаченко О.А., Маратова Г.Р., Садуакасова Г.Н.* Өскемен қаласы атмосферасының күкіртті сутекті шығару көздерін анықтау. Оларды қадағалау әдістері 3
- Қабдрахманова Н.Қ., Мусабаева М.Н., Жемсикбаева Н.Ж., Кайсарова А.С.* Жоғарғы Ертис алабының геожүйелерін анықтау және картаға түсіру тұжырымдамасы, олардың жүйелік құрылымы 9
- Курманғалиев Д.Б., Абдулина С.А.* Электролитті-плазмалық тотықтырудың патент материалдарына шолу 13
- Исмаилова А.А., Өтегенова А.Е.* Мал ауруларын диагностикалаудың сараптама-лық жүйесі 17
- Лиақын Л., Оналбаева Ж.С., Мамяченков С.В.* $Fe^{2+}/Fe^{3+} - Zn^{2+} - SO_4^{2-} - H_2O$ жүйесіндегі тепе-теңдікті Eh-pH (ПУРБЭ диаграммасы) диаграммасы арқылы термодинамикалық зерттеу 21
- Маратова Г.Р., Даумова Г.К., Асанов Д.А., Садуакасова А.Т.* Шахталық суды қосымша тазарту үшін ультрадиспергентті сорбенттерді пайдалану мүмкіндігін зерттеу 26
- Рогов Е.И., Жатқанбаев Е.Е., Жатқанбаева Ж.К., Болатова А.Б., Нурымов Ж.Д.* Бульдозер-скрепер және жер асты ұңғымалы шаймалау тәсілдерімен шашыранды кен орындарында алтын өндірудің экономикалық тиімділігін талдау 30
- Фролова О.В., Амралинова Б.Б., Ағалиева Б.Б., Дьячков Б.А., Матайбаева И.Е., Зимаповская Н.А.* «Дельбегетей қалайы кен түйінінің геологиялық құрылымының ерекшеліктері және болашағын бағалау (Батыс Қалба)» 36
- Черненко З.И., Мизерная М.А.* Манка кен орнының алтын кварцты және алтын березитті кенденуіне перспективалық бағалау (Шығыс Қазақстан) 43
- Черненко З.И., Матайбаева И.Е.* «Қараджал (Шығыс Қазақстан) кен орнының сирек металды-флюорит типтес кенденуінің пайда болу ерекшеліктері және перспективалы бағасы)» 48

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР
ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

- Алонцева Д.Л., Хожанов А.Р., Герт С.С., Садибеков А.Б., Калюжный С.Н.* Танталдан титан имплантаттарының функ-

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ
И ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Асанов Д.А., Запасный В.В., Еркинбеков М.Е., Ткаченко О.А., Маратова Г.Р., Садуакасова Г.Н.* Поиск источников выбросов сероводорода в атмосферу в Усть-Каменогорске. Способы их контроля 3
- Қабдрахманова Н.Қ., Мусабаева М.Н., Жемсикбаева Н.Ж., Кайсарова А.С.* Концепция выявления и картографирования геосистем Верхне-Иртышского бассейна, их системная структура 9
- Курманғалиев Д.Б., Абдулина С.А.* Обзор патентных материалов электролитно-плазменного окисления 13
- Исмаилова А.А., Өтегенова А.Е.* Экспертная система диагностики болезней животных 17
- Лиақын Л., Оналбаева Ж.С., Мамяченков С.В.* Термодинамическое исследование равновесия в системе $Fe^{2+} / Fe^{3+} - Zn^{2+} - SO_4^{2-} - H_2O$ через диаграмму Eh-pH (диаграмма ПУРБЭ) 21
- Маратова Г.Р., Даумова Г.К., Асанов Д.А., Садуакасова А.Т.* Изучение возможности использования ультрадиспергированных сорбентов для доочистки шахтных вод 26
- Рогов Е.И., Жатқанбаев Е.Е., Жатқанбаева Ж.К., Болатова А.Б., Нурымов Ж.Д.* Анализ экономической эффективности добычи золота на россыпных месторождениях способами бульдозерно-скреперным и подземного скважинного выщелачивания 30
- Фролова О.В., Амралинова Б.Б., Ағалиева Б.Б., Дьячков Б.А., Матайбаева И.Е., Зимаповская Н.А.* Особенности геологического строения и оценка перспектив Дельбегетейского оловорудного узла (Западная Калба) 36
- Черненко З.И., Мизерная М.А.* Перспективная оценка на золото-кварцевое и золото-березитовое оруденение месторождения манка (Восточный Казахстан) 43
- Черненко З.И., Матайбаева И.Е.* Особенности образования и перспективная оценка редкометально-флюоритового типа оруденения месторождения Караджал (Восточный Казахстан) 48

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
И ТЕХНОЛОГИИ

- Алонцева Д.Л., Хожанов А.Р., Герт С.С., Садибеков А.Б., Калюжный С.Н.* Роботизированное микроплазменное напыле-

ционалды жабындарын роботтандырылған микроплазмалық тозандандыру	52	ние функциональных покрытий из тантала на титановые имплантаты	52
Ахмедиярова А.Т., Касымова Д.Т., Ахмеджанов М.Р. (PON) пассивті оптикалық желілерін талдау және қолдану	57	Ахмедиярова А.Т., Касымова Д.Т., Ахмеджанов М.Р. Анализ и применение пассивных оптических сети (PON)	57
Балтаев Т.А., Ғабдысалық Р. Ультратыбыс энергиясымен тұрақтандыру процесінде дөңгелек жамылғылардың геометриялық параметрлеріне маңызды факторлардың әсерін талдау	62	Балтаев Т.А., Ғабдысалық Р. Анализ влияния значимых факторов на геометрические параметры круглых пластин в процессе ее стабилизации энергией ультразвука	62
Бакланов А.Е., Григорьева С.В., Алимханова А.Ж., Алибеккызы К., Дмитриева Т.С. Ақ жарық диодтары арқылы символдық деректерді беруді ұйымдастыру	65	Бакланов А.Е., Григорьева С.В., Алимханова А.Ж., Алибеккызы К., Дмитриева Т.С. Организация передачи символьных данных с помощью белых осветительных светодиодов	65
Баширов В.Д., Сагитов Р.Ф., Балгынова А.М., Мерекекызы А., Кушалиев Д.К. Мұнай және мұнай-химия өнеркәсібі кәсіпорындарында сарқынды суларды биологиялық тазартуды жақсарту	70	Баширов В.Д., Сагитов Р.Ф., Балгынова А.М., Мерекекызы А., Кушалиев Д.К. Улучшение биологической очистки сточных вод на предприятиях нефтяных и нефтехимической промышленности	70
Блинаева Е.В., Блинаева Н.С., Смаилова С.С., Яковлев В.С. Сарыбұлақ кен орнының мұнайын басқа кен орындарының мұнайларымен салыстырмалы талдау	74	Блинаева Е.В., Блинаева Н.С., Смаилова С.С., Яковлев В.С. Сравнительный анализ нефти месторождения Сарыбұлақ с нефтями других месторождений	74
Дудкин М.В., Ким А.И., Мłyńczak М., Дудкина Е.Л., Хон Н.В. Серпімді аспада кесу-жару әрекетінің жұмыс органы бар мұз қалақшасының тәжірибелік-өнеркәсіптік үлгісінің конструкциясын әзірлеу, дайындау және түзету (ҚР БҒМ ҒК АР05130653 жобасы)	80	Дудкин М.В., Ким А.И., Мłyńczak М., Дудкина Е.Л., Хон Н.В. Разработка, изготовление и корректировка конструкции опытно-промышленного образца льдо-скалывателя с рабочим органом режущескалывающего действия на упругом подвесе (проект КН МОН РК АР05130653)	80
Емельянова М.Г., Бакланова О.Е. Дәнекерленген косылыстардың ақауларын автоматты түрде анықтау мәселесін шешу үшін бинаризация әдістерін зерттеу	86	Емельянова М.Г., Бакланова О.Е. Исследование методов бинаризации для решения задачи автоматического обнаружения дефектов сварных соединений	86
Закимова А.М., Конурбаева Ж.Т., Денисова О.К. Қазақстандағы мал шаруашылығы өнімдерін терең өңдеу мәселелері	90	Закимова А.М., Конурбаева Ж.Т., Денисова О.К. Вопросы глубокой переработки продукции животноводства в Казахстане	90
Кадыролдина А.Т., Құсайын-Мұрат Ә.Т., Красавин А.Л., Прохоренкова Н.В. Күрделі формадағы бұйымдарға плазмалық өңдеуді жүргізетін робот-манипулятор үшін акпараттық жүйені әзірлеу	95	Кадыролдина А.Т., Құсайын-Мұрат Ә.Т., Красавин А.Л., Прохоренкова Н.В. Разработка информационной системы для робота-манипулятора, производящего плазменную обработку изделий сложной формы	95
Қантай Н., Рахадиллов Б., Алтысбаев С., Жанимхан Е. Механохимиялық синтездеу көмегімен ШХ15 болат шарының бетіне алынған жабынның трибологиялық қасиетін зерттеу	99	Қантай Н., Рахадиллов Б., Алтысбаев С., Жанимхан Е. Исследование трибологических свойств покрытий, взятых на поверхность стальных шаров ШХ15 с помощью механохимического синтеза	99
Келаманов Б.С., Әбдірашит А.М., Юсупова Ж.Н., Қуатбай Е.Қ., Ізімов Д.М. Fe-Al-C және Si-C-Al жүйелеріндегі термодинамикалық үрдістерді модельдеу және талдау	103	Келаманов Б.С., Әбдірашит А.М., Юсупова Ж.Н., Қуатбай Е.Қ., Ізімов Д.М. Моделирование и анализ термодинамических процессов в системах Fe-Al-C и Si-C-Al	103
Келаманов Б.С., Жумағалиев Е.У., Акуов А.М., Самуратов Е.К., Әбдірашит А.М. Fe-Si-C және Fe-Si-Al жүйелеріндегі термодинамикалық үрдістерді модельдеу және талдау	107	Келаманов Б.С., Жумағалиев Е.У., Акуов А.М., Самуратов Е.К., Әбдірашит А.М. Моделирование и анализ термодинамических процессов в системах Fe-Si-C и Fe-Si-Al	107

Найзабаева А.А., Бакланов А.Е. Энергияны үнемдеу үшін баламалы энергия көздерін қолдану	111	Найзабаева А.А., Бакланов А.Е. Использование альтернативных источников энергии для экономии энергии	111
Найзабаева А.А., Бакланов А.Е. Кіріктірілген микроконтроллері бар жарықдиодты жарықтандыру құрылғыларының күн энергиясын тұтынуын тиімді мониторингтеу және бақылау	115	Найзабаева А.А., Бакланов А.Е. Эффективный мониторинг и контроль потребления солнечной энергией светодиодными осветительными приборами с встроенным микроконтроллером	115
Опанасюк А.С., Возный А.А., Плотников С.В., Уазырханова Г.К., Ердыбаева Н.К., Уазырханова Ж.К. Sn_xS_y пленкаларындағы термиялық индукцияланған фазалық ауысу	119	Опанасюк А.С., Возный А.А., Плотников С.В., Уазырханова Г.К., Ердыбаева Н.К., Уазырханова Ж.К. Термически-индуцированный фазовый переход в пленках Sn_xS_y	119
Опанасюк А.С., Возный А.А., Плотников С.В., Уазырханова Г.К., Ердыбаева Н.К., Уазырханова Ж.К. Өртүрлі жағдайларда жағылған Sn_xS_y пленкаларының құрылымдық, оптикалық және электрлік қасиеттері	124	Опанасюк А.С., Возный А.А., Плотников С.В., Уазырханова Г.К., Ердыбаева Н.К., Уазырханова Ж.К. Структурные, оптические и электрические свойства пленок Sn_xS_y , нанесенных в различных условиях	124
Плотников С.В., Ердыбаева Н.К., Жанысов С.А., Максакова О.В., Погребняк А.Д. Наномөлшемді архитектурасы бар TiZrN/TiSiN көп қабатты жабынының құрылымы мен механикалық қасиеттері	129	Плотников С.В., Ердыбаева Н.К., Жанысов С.А., Максакова О.В., Погребняк А.Д. Структура и механические свойства многослойного покрытия TiZrN/TiSiN с наномасштабной архитектурой	129
Русакова А.В., Жилкашинова А.М., Касымканова М.Т., Акбасова Ә.Б. Композитті нанокұрылымды материалдардағы радиациялық ақаулардың пайда болу процестеріне электронды сәулеленудің әсері	135	Русакова А.В., Жилкашинова А.М., Касымканова М.Т., Акбасова Ә.Б. Влияние электронного облучения на процессы радиационного дефектообразования в композитных наноструктурных материалах	135
Рыжкова Е.В., Азаматов Б.Н., Азаматова Ж.К., Болатова А.Б. Қисық сызықты бет болған кезде ауа-плазмалық кесу процесін басқару әдісі	140	Рыжкова Е.В., Азаматов Б.Н., Азаматова Ж.К., Болатова А.Б. Способ управления процессом воздушно-плазменной резки при наличии криволинейной поверхности	140
Сейтахметова Ж.М. Электрондық білім беру платформалары негізінде мектепте жеке оқытуды енгізу бойынша эксперимент нәтижелері	144	Сейтахметова Ж.М. Результаты эксперимента по внедрению персонализированного обучения в школе на основе образовательных электронных платформ	144
Табиева Е.Е., Рахадиллов Б.К., Уазырханова Г.К., Байжан Д. Дөңгелектік болатың электролиттік-плазмалық беттік шынықтыруға дейінгі және одан кейінгі құрылымы мен механикалық қасиеттері	149	Табиева Е.Е., Рахадиллов Б.К., Уазырханова Г.К., Байжан Д. Структура и механические свойства колесной стали до и после электролитно-плазменной поверхностной закалки	149
Тоқсеит Д.Қ., Боранбаев С.А., Оралбекова Ж.О., Нуржанова А.Б. Георадарлық деректерді қолдану арқылы геоэлектрлік қиманы анықтау	154	Тоқсеит Д.Қ., Боранбаев С.А., Оралбекова Ж.О., Нуржанова А.Б. Определения геоэлектрического разреза по георадарным данным	154
Хасенова З.Т., Тойбеков А.Т., Кусаинова А.Т. Нақты уақыттағы ауаның ластану деңгейін бағалау үшін ақпараттық-коммуникациялық технологияларды пайдалану	161	Хасенова З.Т., Тойбеков А.Т., Кусаинова А.Т. Использование информационно-коммуникационных технологий для оценки уровня загрязнения воздуха в реальном времени	161

**ӘСКЕРИ ІС ЖӘНЕ
ҚАУІПСІЗДІК**

Купенов М.Ж. Қазіргі заманғы жауынгерлік роботтар	167
--	-----

**ВОЕННОЕ ДЕЛО
И БЕЗОПАСНОСТЬ**

Купенов М.Ж. Современные боевые роботы	167
---	-----

**Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің
ХАБАРШЫСЫ**

Ғылыми журнал
1998 жылы шыға бастады.
Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық келісім министрлігінде тіркеліп,
1998 ж. 27 ақпанында № 145-ж куәлігі берілген.



ВЕСТНИК

Восточно-Казахстанского технического университета имени Д. Серикбаева

Научный журнал
Издается с 1998 г.
Зарегистрирован Министерством информации и общественного согласия
Республики Казахстан. Свидетельство № 145-ж от 27 февраля 1998 г.

Редакторлар – Редакторы
О.Н. Николаенко, С.С. Мамыраздыкова
Корректорлар – Корректоры
О.Н. Николаенко, С.С. Мамыраздыкова
Руководитель издательства О.Н. Николаенко

Материалдарды компьютерде терген
және беттеген



Набор, верстка,
изготовление оригинал-макета
С.С. Мамыраздыкова

Басуға 26 қазан 2020 ж. қол қойылды.
Форматы 84×108/16. Офсет қағазы.
Көлемі: шартты баспа табағы 18,69, есептік баспа табағы 18,98.
Таралымы 350 дана. № 1255-2020 тапсырыс.
Бағасы келісім бойынша.



Подписано в печать 26 октября 2020 г.
Формат 84×108/16. Бумага офсетная.
Объем: усл. печ. л. 18,69, уч.-изд. л. 18,98.
Тираж 350 экз. Заказ № 1255-2020.
Цена договорная.

Шығыс Қазақстан техникалық университеті
070004, Өскемен қаласы, Протозанов көшесі, 69

Восточно-Казахстанский технический университет
070004, г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова, 69