



Д. Серікбаев  
атындағы  
Шығыс Қазақстан  
мемлекеттік техникалық  
университетінің

**ХАБАРШЫСЫ**



**ВЕСТНИК**

Восточно-Казахстанского  
государственного технического  
университета  
имени  
Д. Серикбаева

2

Регистрационный № 145-ж

№ 2 (88), июнь, 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 38.33.01

Б.Б. Амралинова<sup>1</sup>, В.С. Портнов<sup>2</sup>, А.Н. Копобаева<sup>2</sup>, Г.Г. Бялова<sup>2</sup>, А. Амангельдықызы<sup>2</sup>,  
Н.С. Асқарова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

<sup>2</sup>Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда

#### ПЕТРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГРАНИТОИДОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АКЧАТАУ

*Изучена петрохимическая характеристика лейкогранитов и гранитов месторождения Акчатау, которые объединяются в группу гранитоидов. Установлена стадийность эволюции состава лейкогранитов первой фазы к жильным образованиям. Породы первой, второй фазы и жильные образования второй фазы, соответствуют умеренно-щелочным и нормальным гранитоидам, о чем свидетельствует соотношение кремнекислотности к  $K_2O+Na_2O$ .*

*Изменение состава гранитоидов Акчатауского плутона от первой фазы до жильной обусловлено изменением состава расплава магматического очага.*

*Гранитоидтар тобына біріктірілетін Ақшатау кен орнының лейкограниттері мен граниттерінің петрохимиялық сипаттамасы зерттелді. Бірінші фазадағы лейкограниттер құрамының эволюциясының кезеңі анықталды. Бірінші, екінші фазаның жыныстары және екінші фазаның сызықты түзілуі қалыпты-сілтілі және қалыпты гранитоидтарға сәйкес келеді, бұл туралы кремнийқышқылдылықтың  $K_2O+Na_2O$ -ге арақатынасы көрсетеді.*

*Ақшатау плутон гранитоидтар құрамының бірінші фазадан желілікке дейін өзгеруі, магма ошағының балқыма құрамының өзгеруімен негізделеді.*

*The petrochemical characteristics of leucogranites and granites of the Akchatau Deposit, which are combined into a group of granitoids, have been studied. The stage of evolution of the composition of leucogranites of the first phase to vein formations is established. Rocks of the first, second phase and vein formations of the second phase correspond to moderate-alkaline and normal granitoids, as evidenced by the ratio of silicic acid to  $K_2O+Na_2O$ .*

*The change in the composition of the granitoids of the Akchatau pluton from the first phase to the vein one is due to the change in the composition of the magma core melt.*

**Ключевые слова:** гранитоиды, граниты, лейкограниты, Центрально-Азиатский складчатый пояс, берилл, молибден, вольфрам.

Руды месторождения Акчатау представлены вольфрам-молибден-бериллиевыми рудами кварцево-жильно-грейзенового типа. Месторождение расположено в Северо-Балхашском металлогеническом поясе, который образован позднепалеозойской тектоникой Центрально-Азиатского складчатого пояса (рис. 1) [1, 2].

Месторождение локализовано в купольной части крупного Акчатауского массива. Руды генетически связаны с вмещающими нижнепермскими лейкократовыми и аляскитовыми гранитами, объединенными в одну генетическую группу гранитоидов, являющимися рудогенерирующими в Центрально-Казахстанском регионе и именующимися «акчатаускими». Кварцевые жилы грейзенов сформировались за счет коллизионных процессов в ранней перми (289-300 млн лет). В этот период произошло столкновение Северного Прибалхашья и Юго-Западного Жунгара, которое привело к началу обширного щелочного магматизма, обусловившего редкометалльное оруденение [1, 2].

По гравиметрическим данным Акчатауский плутон (рис. 2) имеет форму несколько уплощенного гранитного лакколита, вытянутого в субширотном направлении на 28 км при ширине 12-16 км и мощностью до 7-8 км в центральной части. Его большая часть скрыта на глубине под терригенными отложениями верхнего силура и кислыми и средними эффузивами карбона [3]. Диаметр обнаженного купола составляет около 4 км.



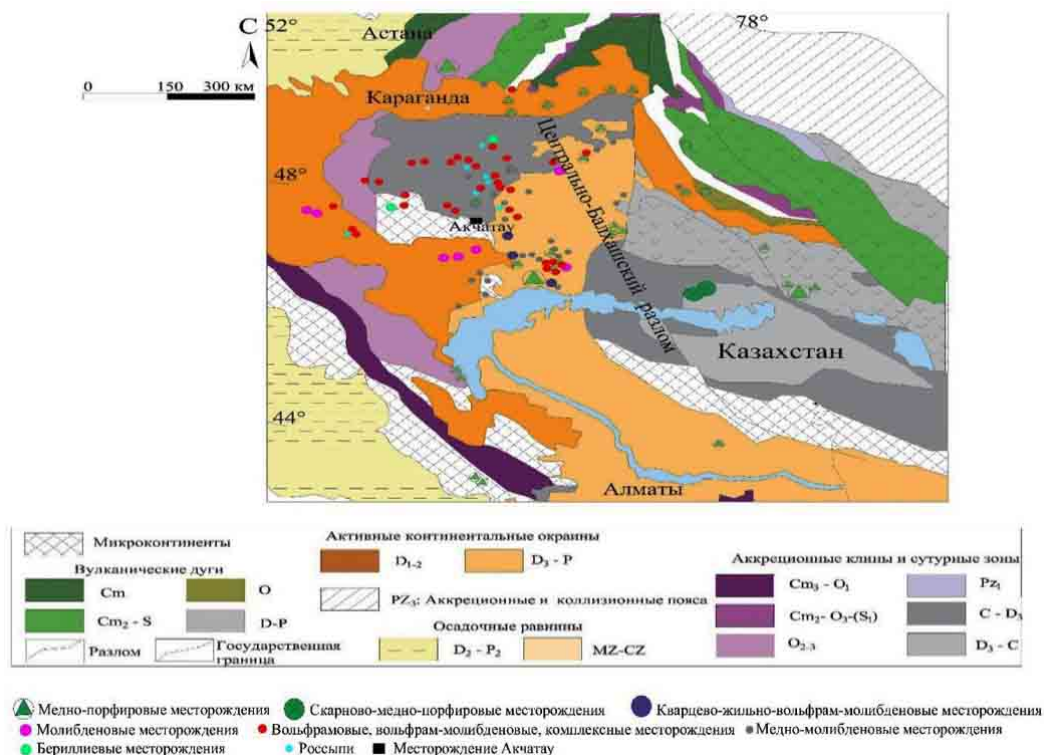


Рисунок 1 – Геотектоническая карта западной части Центрально-Азиатского складчатого пояса с крупными рудными месторождениями по Xiao et al., 2009

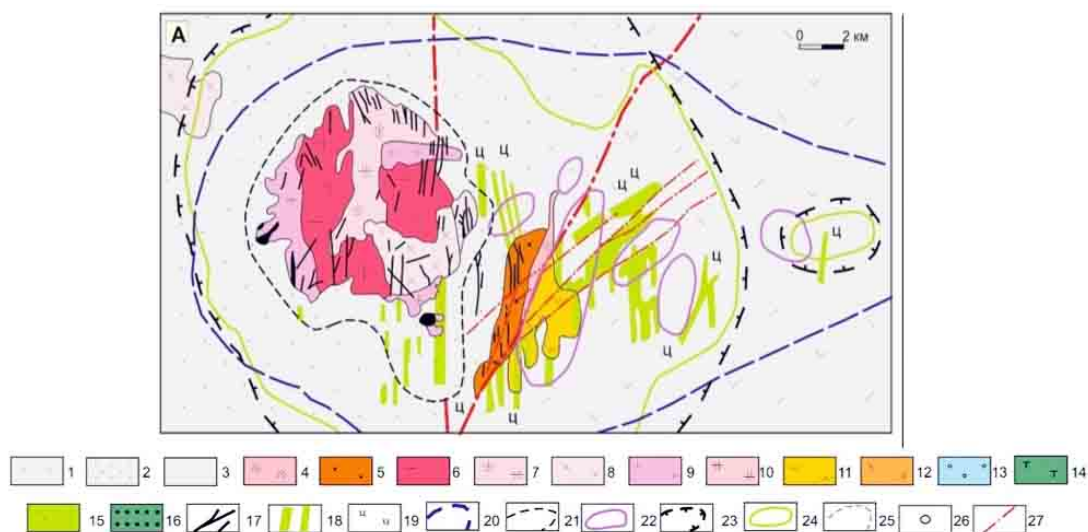


Рисунок 2 – Геологическая модель месторождения Акчатау по Беспяеву, 2009: 1 – нижнекаменноугольные вулканиты; 2 – верхнесилурийские песчано-сланцевые отложения; 3 – породы надинтрузивной зоны нерасчлененные; 4 – каменноугольные субвулканические гранодиорит-порфиры; 5 – каменноугольные адалиты и гранодиориты; 6-9 – пермский Акчатауский интрузивный комплекс: 6 – крупнозернистые порфировидные граниты I фазы; 7 – разнопорфировидные мелкозернистые граниты дополнительной интрузии I фазы; 8 – среднезернистые граниты II фазы; 9 – мелкозернистые лейкократовые граниты II фазы; 10 – граниты Акчатауского комплекса нерасчлененные; 11 – вторичные кварциты; 12-15 грейзены: 12 – кварцевые пористые; 13 – кварцевые

плотные, 14 – кварц-топазовые, 15 – кварц-мусковитовые; 16 – мусковито-кварцевые пористые; 17 – кварцево-жильно-грейзеновые тела в гранитах и адалмитах; 18 – зоны штокерковой грейзенизации в породах экзоконтакта; 19 – цеолитизация; 20 – контур Акчатауского плутона на глубине 2,5-3 км; 21 – контур плутона 450 м; 22 – проекция на поверхность скрытых гранитных куполов; 23 – контур ороговикования пород; 24 – граница распространения грейзенов; 25 – граница раздела высоко- и низкотемпературных роговиков; 26 – редкометалльные месторождения; 27 – тектонические нарушения

Акчатауский плутон сложен, в основном, крупнозернистыми порфировидными гранитами первой фазы внедрения. Плиткообразные тела среднезернистых гранитов второй фазы тяготеют к куполам и апикальным выступам массива. Мелкозернистые граниты II фазы образуют мелкие штоки, жилы и более сложные тела лестничного типа в гранитах I и II фаз [3].

Петрогеохимические особенности слагающих плутон пород изучались по результатам анализа химического состава семидесяти трех образцов (табл. 1, 2) [4,5,6]. Эти данные использованы для построения фигуративных точек на TAS-диаграмме (рис. 3). Их положение позволяет провести четкую классификацию исследуемых образцов по двум параметрам – содержание кремнезема и суммарное содержание оксидов натрия и калия (суммы щелочей) (табл. 1, 2). Породы первой, второй фазы и жильные образования второй фазы соответствуют умеренно-щелочным, а также нормальным лейкогранитам и гранитам. Значения кремнекислотности варьируют в диапазоне 69-79 %.

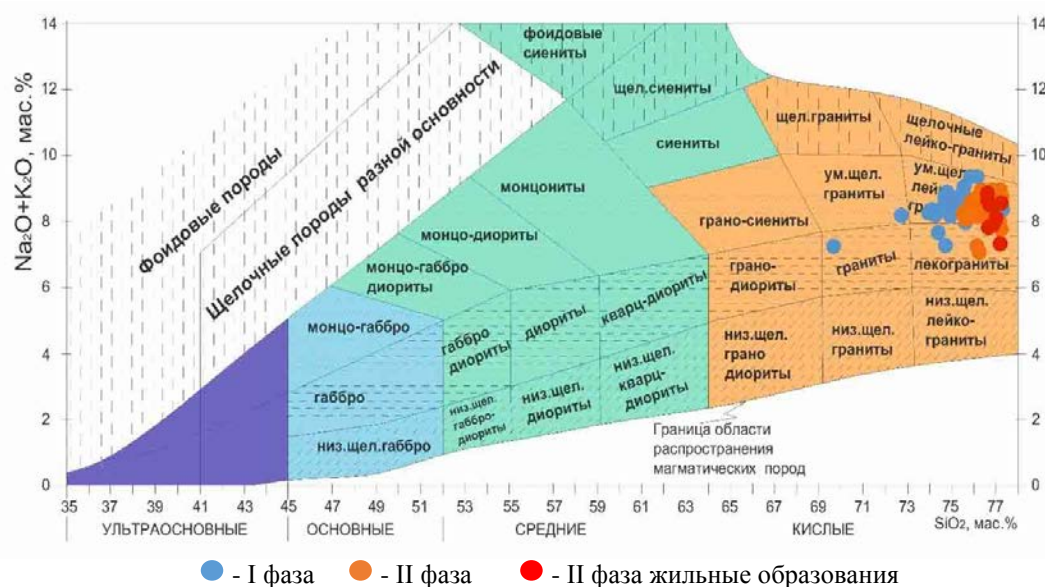


Рисунок 3 – Петрохимическая характеристика пород Акчатауского массива на классификационной TAS-диаграмме (по Шарпенюк и др., 2008)

В табл. 1 приведены средние значения оксидов металлов образцов интрузивов двух фаз. Граниты первой фазы главной интрузии (фация ядра и дополнительные интрузии) имеют близкое содержание по всем оксидам.

Граниты главной интрузии второй фазы (фация ядра, фация эндоконтакта и дополнительные интрузии) практически однородны по составу оксидов при незначительном увеличении содержания  $\text{SiO}_2$  в дополнительную фазу.

В целом же, содержания оксидов двух фаз по содержанию  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  близки. Содержания оксидов  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  в гранитах первой фазы в 1,5-2 раза больше чем во второй.

Сравнивая среднее содержание оксидов жильных образований, можно сделать вывод об их сходстве, однако по  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$  для нерасчлененных жильных образований оно в 1,5-2 раза выше по сравнению с жильными образованиями 1 и 2 генераций.

Обращает внимание тот факт, что различие отмечается для интрузии первой и второй фаз, а также для жильных образований, при этом среднее содержание этих оксидов в интрузиях также в 1,5-2 раза больше по сравнению с жильными образованиями, возможно за счет  $\text{SiO}_2$ , так как среднее содержание  $\text{SiO}_2$  в интрузиях первой фазы – 74,58 %, второй – 76,11 %, а в жильных – 76,48 %.

Таблица 1

*Средний химический состав гранитов Акчатауского массива [5]*

$\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{FeO}$	$\text{MnO}$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{SO}_3$	$\text{H}_2\text{O}^+$	Сумма
I фаза, гл. интрузив, фация ядра													
74,55	0,26	12,71	1,04	1,15	0,04	0,26	0,83	3,46	4,87	0,08	0,1	0,32	9967
I фаза, доп. интрузив													
74,61	0,25	13	0,89	1,04	0,05	0,28	1,16	3,64	5,01	0,082	0,14	0,24	100,392
II фаза, гл. интрузив, фация ядра													
76,15	0,16	12,23	0,98	0,51	0,03	0,21	0,82	3,39	4,88	0,055	0,12	0,35	99,885
II фаза, гл. интрузив, фация эндоконтакта													
76,12	0,15	11,9	0,68	1,28	0,03	0,14	0,75	3,36	4,7	0,029	0,24	0,32	99,699
II фаза, доп. интрузив													
76,05	0,2	11,9	0,92	0,71	0,03	0,16	0,75	3,55	5	0,026	0,65	0,38	100,326
II фаза, жильные образования, нерасчлененные													
76,51	0,14	12,95	0,84	—	—	0,29	1,01	3,53	4,08	0,1	0,03	0,39	99,87
II фаза, жильные образования 1-й генерации													
76,35	0,13	12,1	0,28	1,16	0,04	0,09	0,84	3,7	4,75	0,033	0,04	0,16	99,673
II фаза, жильные образования 2-й генерации													
76,58	0,14	12,34	0,24	0,93	0,03	0,15	0,76	3,77	4,7	0,031	0,02	0,16	99,851

В табл. 2 представлен химический состав гранитов (проба К<sup>9</sup>-8) и лейкогранитов (все остальные пробы). Приведенные данные были использованы для выявления закономерностей изменения гранитоидов с использованием бинарных диаграмм Харкера (рис. 4). На диаграммах видны основные закономерности эволюции составов гранитоидов Акчатауского массива от первой фазы к жильной, которая заключается в усложнении состава расплава. С ростом  $\text{SiO}_2$  происходит уменьшение содержаний  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  на фоне закономерного увеличения значений  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ . Это, возможно, связано с фракционированием Fe-Mg из расплава биотита, Са-амфибола, плагиоклаза, а также Fe-Ti оксидов и апатита. В Акчатауском массиве рост содержания  $\text{SiO}_2$  в породах от 69,19 до 76,91 мас. % сопровождается снижением содержаний  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , что отражает фракционирование щелочного полевого шпата, проявленное на постмагматической стадии окварцевания [8].

Таблица 2

*Химический состав гранитов I-фазы Акчатауского массива [4, 6]*

Оксиды, мас. %	К <sup>9</sup> -8	К <sup>9</sup> -9	К <sup>9</sup> -10	К <sup>9</sup> -11	К <sup>9</sup> -12	G <sup>9</sup> -1	G <sup>9</sup> -2	G <sup>9</sup> -3	AqsK9 <sup>13</sup>	AQSG3 <sup>13</sup>
$\text{SiO}_2$	69,19	76,75	77,09	76,83	75,03	74,35	74,71	76,91	76,75	76,91
$\text{TiO}_2$	0,33	0,14	0,14	0,08	0,21	0,25	0,23	0,09	0,14	0,09
$\text{Al}_2\text{O}_3$	14,85	12,15	12,16	12,36	12,9	13,14	13,09	12,41	12,15	12,41
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3,07	0,88	0,65	0,71	1,17	1,31	1,21	0,34	0,88	0,34
$\text{MnO}$	0,09	0,04	0,02	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03

Окончание таблицы 2

MgO	1,08	0,1	0,09	0,05	0,21	0,22	0,24	0,06	0,10	0,06
CaO	2,66	0,55	0,6	0,56	0,9	0,77	0,93	0,8	0,55	0,80
Na <sub>2</sub> O	3,32	3,57	3,41	3,94	3,47	3,45	3,45	3,91	3,57	3,91
K <sub>2</sub> O	3,86	4,96	4,85	4,6	5,11	5,38	5,19	4,4	4,96	4,40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,09	0,02	0,02	0,01	0,06	0,08	0,07	0,02	0,02	0,02
Сумма	99,61	99,76	99,76	99,78	99,76	99,75	99,71	99,79	99,70	99,70
LOI	0,97	0,51	0,68	0,53	0,57	0,69	0,48	0,73	0,51	0,70
Элементы, мас, %										
F	437	2195	3399	26,75	1729	1780	1867	4471	2195,00	4471,00
Rb	168	397	574	635	357	376	355	543	397,00	534,00
Cs	16	11	11	11	7	9	7	11	10,8	11,0
Sr	293	14	14	3	81	85	81	20	14,0	19,5
Ba	689	34	32	2	336	429	338	37	34,0	36,60
Ga	17	22	20	24	19	23	22	25	22,0	25,0
Sn	<2	4	7	<2	<2	<2	<2	14	4,00	14,00
Pb	88	34	29	34	24	21	31	19	33,5	18,5
Cu	18	<10	17	<10	<10	<10	<10	<10	0,00	0,00
Au (ppb)	17	4	17	27	7	4	3	5	-	-
Zn	91	13	14	24	41	25	42	19	13,0	19,0
Sc	6	5	6	6	5	5	6	4	5,20	4,30
Y	12	12	13	11	25	24	29	11	11,70	11,10
Zr	142	148	141	128	156	126	158	137	148,0	137,0
Mo	<1	6	6	2	3	3	4	2	6,0	2,0
Hf	4	6	6	6	5	4	5	7	5,97	6,70
V	49	<5	8	<5	8	21	18	<5	0,00	0,00
Nb	11	26	26	24	21	26	26	23	26,00	23,00
Ta	2	2	2	2	2	2	2	2	1,80	2,30
W	3	27	14	11	4	3	4	20	27,00	20,00
Th	25	60	57	59	42	28	38	48	60,10	48,30
U	8	9	5	38	9	7	11	9	9,00	9,20
La	21,00	64,70	72,00	60,20	31,90	37,80	28,60	45,50	64,7	45,5
Ce	42,50	84,20	91,30	65,20	54,90	68,70	52,90	53,80	84,2	53,8
Pr	4,22	5,88	6,46	3,66	5,98	7,17	5,83	3,44	5,88	3,44
Nd	14,70	14,40	15,80	7,33	20,60	25,10	21,10	7,54	14,40	7,50
Sm	2,73	1,86	2,00	0,70	3,85	4,75	4,44	0,91	1,86	0,91
Eu	0,68	0,19	0,18	0,04	0,79	0,85	0,81	0,09	0,18	0,09
Gd	2,13	1,24	1,42	0,62	3,50	3,64	3,72	0,74	1,24	0,74
Tb	0,36	0,21	0,23	0,14	0,58	0,59	0,65	0,14	0,21	0,14
Dy	2,05	1,32	1,48	0,84	3,64	3,68	4,45	1,01	1,32	1,01
Ho	0,43	0,3	0,32	0,24	0,79	0,78	0,97	0,28	0,3	0,28
Er	1,26	1,22	1,25	1,09	2,74	2,46	3,25	1,13	1,22	1,13
Tm	0,19	0,23	0,25	0,25	0,44	0,38	0,53	0,24	0,22	0,24
Yb	1,46	2,33	2,43	2,67	3,67	2,97	4,15	2,44	2,33	2,44
Lu	0,22	0,49	0,50	0,60	0,62	0,50	0,70	0,52	0,48	0,51

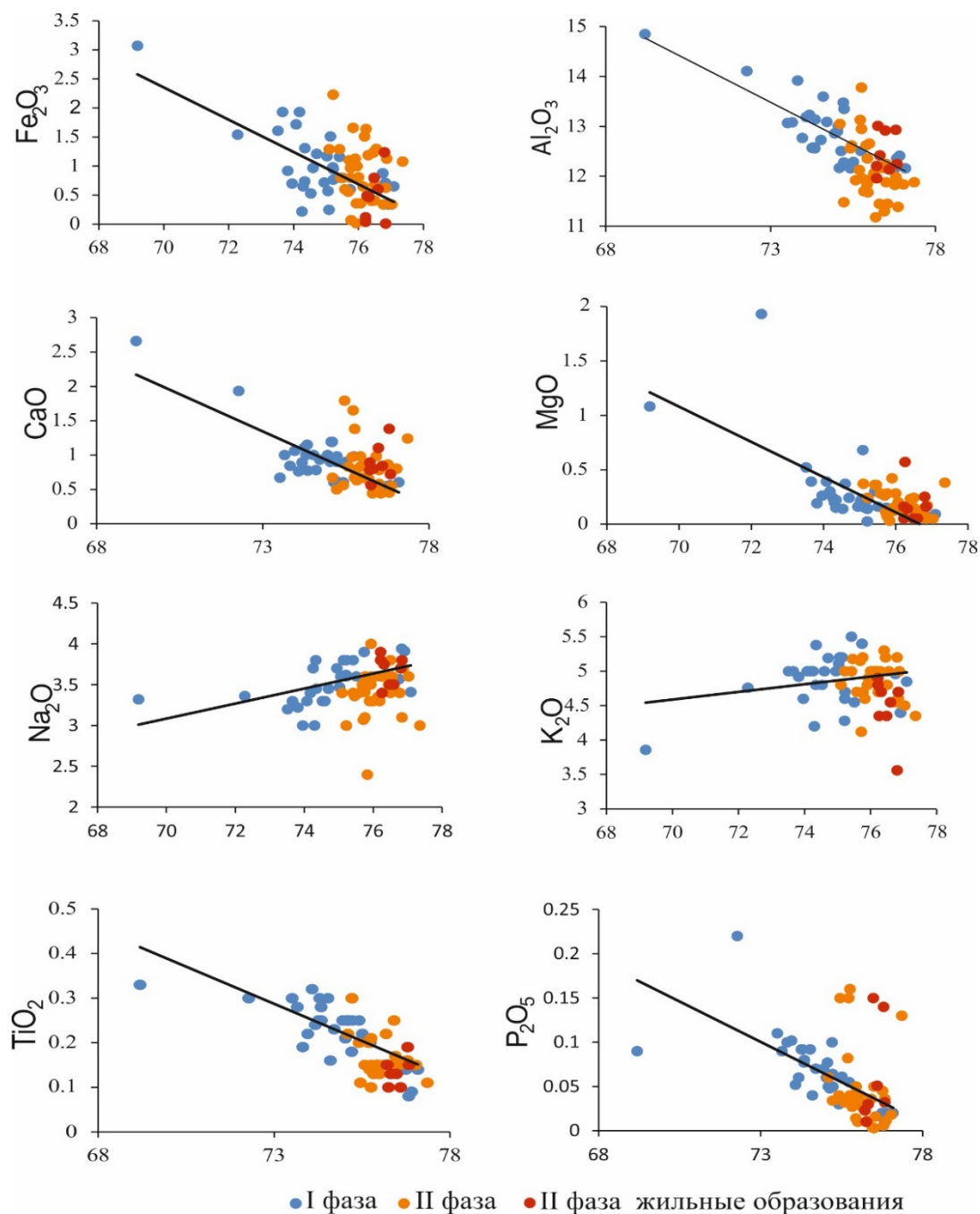


Рисунок 4 – Соотношения петрогенных компонентов к оксиду кремния в Акчатауских лейкогранитах

Для петрохимической типизации гранитоидов использованы дискриминационные диаграммы Фроста (рис. 5), из которых следует, что исследуемые породы относятся к седиментогенному типу (S-тип) и их источником является верхнекоровый магматизм. Повышенная щелочность, с доминированием калия над натрием ( $K_2O$  (4,8) >  $Na_2O$  (3,5)), объясняется привнесением калия, что является одним из показателей гранитизации в орогенных или посторогенных условиях [1].

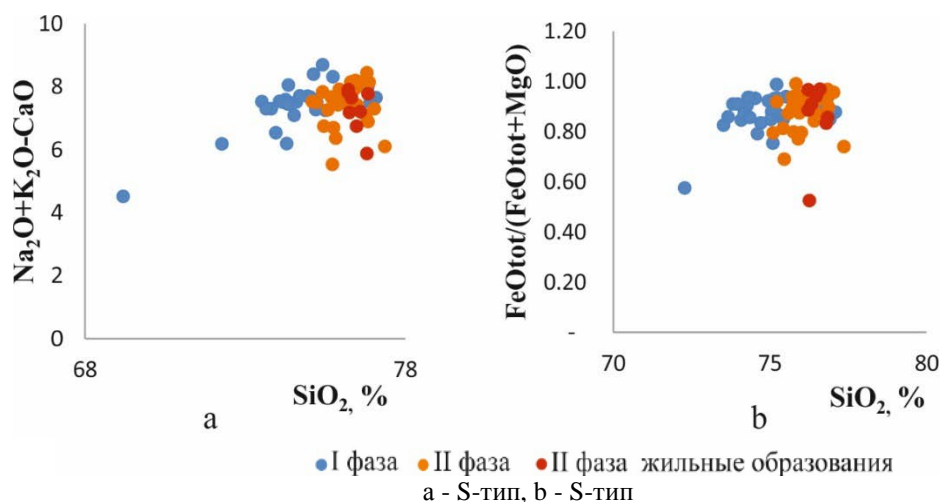


Рисунок 5 – Петрохимическая классификация гранитоидов

**Выводы.** Гранитоиды Акчатауского месторождения близки по составу и относятся к промежуточному типу между известково-щелочными и субщелочными лейкогранитами с преобладанием калия над натрием. Эволюция состава гранитоидов от первой фазы к жильным приводит к усложнению состава расплава с образованием гранитов S-типа, к которым относятся граниты Акчатауского плутона образованные в условиях орогенеза.

#### Список литературы

1. Li M.G., Cao M., Qin K., Evans N.J., Hollings P., Seitmuratova E.Yu. Geochronology, petrogenesis and tectonic settings of pre- and syn-ore granites from the W-Mo deposits (East Kounrad, Zhanet and Akshatau) Central Kazakhstan // *Lithos*. 252-253. 2016. Pp. 16-31.
2. Li P., Sun M., Gideon R., Yuan C., Safonova I., Cai K., Jiang Y., Zhang Yu. Geometry, kinematics and tectonic models of the Kazakhstan Orocline, Central Asian Orogenic Belt // *Journal of Asian Earth Sciences*. – 2018. – Vol. 153, – Pp. 42-56.
3. Зарайский Г.П. Условия образования редкометалльных месторождений, связанных с гранитным магматизмом // *Смирновский сборник: Основные проблемы геологии и минерации*. – Москва, 2004. – С. 105-192.
4. Heinhorst J., Lehmann B., Settmann R. New geochemical data on granitic rocks of Central Kazakhstan // *Granite-Related Ore Deposits of Central Kazakhstan and Adjacent Areas*. – St. Petersburg: Glagol Publishing House, 1996. – Pp. 55-65.
5. Серых В.И. Минеральный и химический состав ультракислых гранитоидов Центрального Казахстана. – Алма-Ата, 1976. – С. 194.
6. Heinhorst J., Lehmann B., Ermolov P., Serykh V., Zhurutin S. Paleozoic crustal growth and metallogeny of Central Asia: evidence from magmatic-hydrothermal ore systems of Central Kazakhstan // *Tectonophysics*. – 2000. – Vol. – 328. – Pp. 69-87.
7. Serykh V.I. Копобаева А.Н. Patterns of distribution of rare metal deposits in central Kazakhstan // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. – 2019, Issue 1. – Pp. 143-150.
8. Савельева В.Б., Базарова Е.П. Геохимические особенности, условия кристаллизации и потенциальная рудоносность раннепротерозойского приморского комплекса гранитов рапакиви // *Геология и геофизика*. – 2012. – Т. 53, № 2. – С. 193-218.

Получено 10.04.2020



МРНТИ 38.35.21

**А.Е. Бисатова, Б.А. Дьячков, М.А. Мизерная, Н.А. Зимановская**Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА  
ЗОЛОТО-ЛИСТВЕНИТОВОГО ТИПА ОРУДЕНЕНИЯ НА ЮЖНОМ АЛТАЕ (МЕСТОРОЖДЕНИЕ МАРАЛИХА)**

Рассматриваются особенности геологического строения и вещественного состава золото-лиственитовых руд месторождения Маралиха, расположенного на Южном Алтае Восточного Казахстана. Приводится метаморфогенно-гидротермальная модель формирования месторождения, представленного кварц-лиственитовыми зонами с прожилково-вкрапленной золото-пирит-арсенопиритовой минерализацией. Подчеркивается избирательная приуроченность золотого оруденения к горизонтам амфиболитовых сланцев и амфиболитов. На основе геолого-структурных и минералого-геохимических критериев прогнозирования произведена оценка перспектив Маралихинского рудного поля.

Шығыс Қазақстанның Оңтүстік Алтайында орналасқан Маралиха кен орнының алтын-лиственитті кендерінің геологиялық құрылымы мен заттық құрамының ерекшеліктері қарастырылады. Кен орнын қалыптастырудың метаморфогенді-гидротермальды моделі, желішел-сепелі алтын-пирит-арсенопиритті минералдануымен кварц-лиственит аймақтары ұсынаан. Алтын кенденудің амфиболитті сланецтер мен амфиболиттердің горизонттарына ұштастығы атап өтіледі. Болжаудың геологиялық-құрылымдық және минералды-геохимиялық өлшемдері негізінде Маралиха кен алаңының перспективаларына бағалау жүргізілді.

The features of the geological structure and material composition of gold-listvenite ores of the Maralikha deposit located in the Southern Altai of Eastern Kazakhstan are considered. A metamorphogenic-hydrothermal model of the formation of a deposit represented by quartz-listvenite zones with veined-interpersed gold-pyrite-arsenopyrite mineralization is presented. It is emphasized that gold mineralization is selectively confined to the horizons of amphibolite shales and amphibolites. On the basis of geological-structural and mineralogical-geochemical criteria of predicting the assessment of the prospects of the Maralikha ore field.

**Ключевые слова.** Южный Алтай, тектоника, динамометаморфизм, амфиболиты, золото, прогнозирование.

Проблема укрепления и развития минерально-сырьевой базы Восточно-Казахстанского региона является весьма актуальной. Обстановка диктует необходимость открытия новых месторождений меди, свинца, цинка, золота, редких металлов и других полезных ископаемых. Актуальна задача разработки новых технологий прогнозно-поисковых работ и создания научной основы восполнения минеральных ресурсов [1]. Территория Восточно-Казахстанского региона имеет высокий золото-рудный потенциал, вносящий значительный вклад в экономику республики [2]. Здесь сосредоточено более 500 месторождений и рудопроявлений разных рудно-формационных типов, сформированных в определенных геодинамических обстановках и рудно-формационных системах и отличающихся по возрастной позиции, вещественному составу руд и практической значимости.

Собственно золоторудные месторождения сформировались в герцинский цикл в процессе коллизии Казахстанской и Сибирской литосферных плит (с элементами подворота) и сосредоточены в Зайсанской сутурной зоне [3,4]. Рудоконтролирующими являются системы диагональных (запад-северо-западных) и широтных глубинных разломов (Теректинский, Западно-Калбинский, Чарский, Байгузин-Булакский, Кызыловский и др.), активизация которых сопровождалась внедрением малых интрузий и даек габбро-диорит-гранодиорит-плагиогранитовой серии  $C_{2-3}$ - $C_3$  (бижанский, кунушский комплексы и их аналоги) и поступлением рудоносных флюидопотоков ( $H_2O$ , F, Cl, Fe, As, Sb, Ag, Au и др.). Магматический контроль золотого оруденения практически проявлен на всех рудных полях.

Ведущими рудно-формационными типами являются золото-сульфидно-углеродистый (месторождения Бакырчик, Большевик и др.), золото-сульфидный прожилково-вкрапленный (Суздальское, Акжал, Жайма и др.), золото-кварц-березитовый (Баладжал, Джерек и др.) и золото-кварцевый (Кулуджун, Сенташ, Лайлы и др.), охарактеризованные в работах [5-8]. Важное поис-

ковое значение придается установлению поясового размещения золотоносных структур и месторождений, сосредоточенных в Западно-Калбинском золоторудном поясе [3,4,9]. По новым палеометаллогеническим реконструкциям определяется региональная позиция золоторудного пояса, который на юго-восточном фланге имеет подворот и пересекается Калба-Нарымским редкометалльным поясом. Далее пояс продолжается на территорию Южного Алтая и в Китай, где в этой же позиции известны месторождения золота Долоносай, Сарыбулак и др. [10].

Территория Южного Алтая характеризуется сложным геологическим строением, интенсивно проявленными процессами регионального метаморфизма и динамометаморфизма, разнообразием геологических и рудных формаций [3,11-13]. Известные золоторудные месторождения размещаются в Манка-Кыставкурчумской и Маралиха-Майкопчегайской рудных зонах и представлены различными типами (Кыстав-Курчумское, Маралиха, Алкабек, Манка и др.).

Месторождение *Маралиха* – типичный представитель золото-кварц-лиственитовой формации, расположено в юго-восточной части Иртышской зоны смятия в пределах Курчум-Кальджирского выступа допалеозойского фундамента. От других типов золоторудных объектов Западной Калбы отличается геологическими условиями формирования и спецификой металлогении. Открыто в 1907 г. старательскими артелями (А.С. Меньщиков и др.). Впервые при разработке делювиальной россыпи в ключе Николай были обнаружены кварцевые жилы с содержанием золота более 8 г/т (Николай, Основательная, Березит и др.), которые выборочно начали отрабатываться. В дальнейшем месторождение изучали Б.А. Тихонов, Т.И. Еникеева, Н.И. Бородаевский, В.В. Панова, Г.В. Назаров, Х.А. Беспаяев, Е.М. Сапаргалиев, Н.В. Полянский и другие. По новым результатам исследований авторами статьи уточняются геолого-структурные, минералого-геохимические индикаторы рудообразования и перспективы месторождения.

На месторождении рудовмещающими являются метаморфические образования амфиболито-гнейсовой формации (PR<sub>1</sub>?), объединяющей кварц-серицит-хлоритовые, кварц-биотит-серицитовые, биотит-плагиоклаз-кварцевые, кварц-полевошпатовые и другие кристаллические сланцы и амфиболиты. В обрамлении Курчум-Кальджирского блока развиты известняково-терригенные («зеленосланцевые») отложения текенской свиты (S-D<sub>1</sub>).

По систематике месторождение относится к динамометаморфическому классу, жильно-штоковерковой корневой морфоструктуре [3]. Характеризуется широким развитием надвигово-разрывных нарушений, сопровождавшихся протрузиями серпентинизированных гипербазитов, внедрением даек диабазов, габброидов, диоритовых порфириров, плагиогранит-порфириров, гранит-порфириров и кварцевых порфириров. Главное рудоконтролирующее значение придается системе северо-западного глубинного разлома корово-мантийного типа, в обрамлении которого (висячем боку) сосредоточены основные золотосодержащие кварц-лиственитовые зоны (рис. 1).

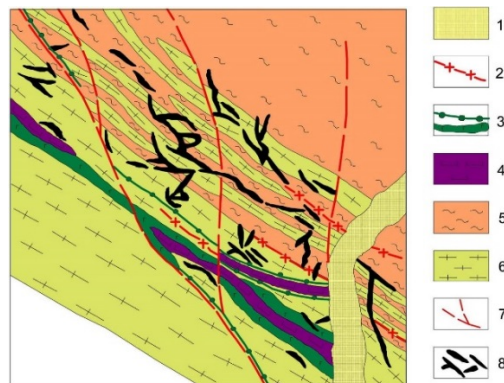


Рисунок 1 – Геологическая схема месторождения золота Маралиха (по материалам Н.И. Бородаевского и др.): 1 – современные речные осадки: галечники, пески; 2 – дайки гранит-порфириров; 3 – дайки габбро, габбро-диабазов; 4 – аподунитовые серпентиниты; 5 – кварц-серицит-хлоритовые, хлорит-кварцевые, биотит-плагиоклаз-кварцевые, хлорит-полевошпат-кварцевые сланцы; 6 – амфиболиты; 7 – разломы; 8 – золото-сульфидно-кварцевые и кварц-карбонатные жилы



Месторождение сформировалось в коллизионной геодинамической обстановке в процессе тектонического сжатия и сдвижения блоков (векторы ЮЗ-СВ), выдавливания серпентинитовой пластины и образования сложной системы складчато-разрывных структур (сдвиги, надвиги, взбросо-сдвиги и др.). Эти процессы сопровождались изменением вмещающих пород (серпентинизация, амфиболитизация, лиственитизация, окварцевание) и привнесом рудоносных гидротермальных флюидопотоков. Модель рудообразования отражает метаморфогенно-гидротермальный генезис месторождения с образованием золотоносных кварц-лиственитовых зон и повышенной избирательной концентрации оруденения в полосах амфиболитовых сланцев. Фактический материал показывает, что в рудных телах, пересекающих амфиболиты, содержание золота достигает 10-30 г/т (рис. 2).

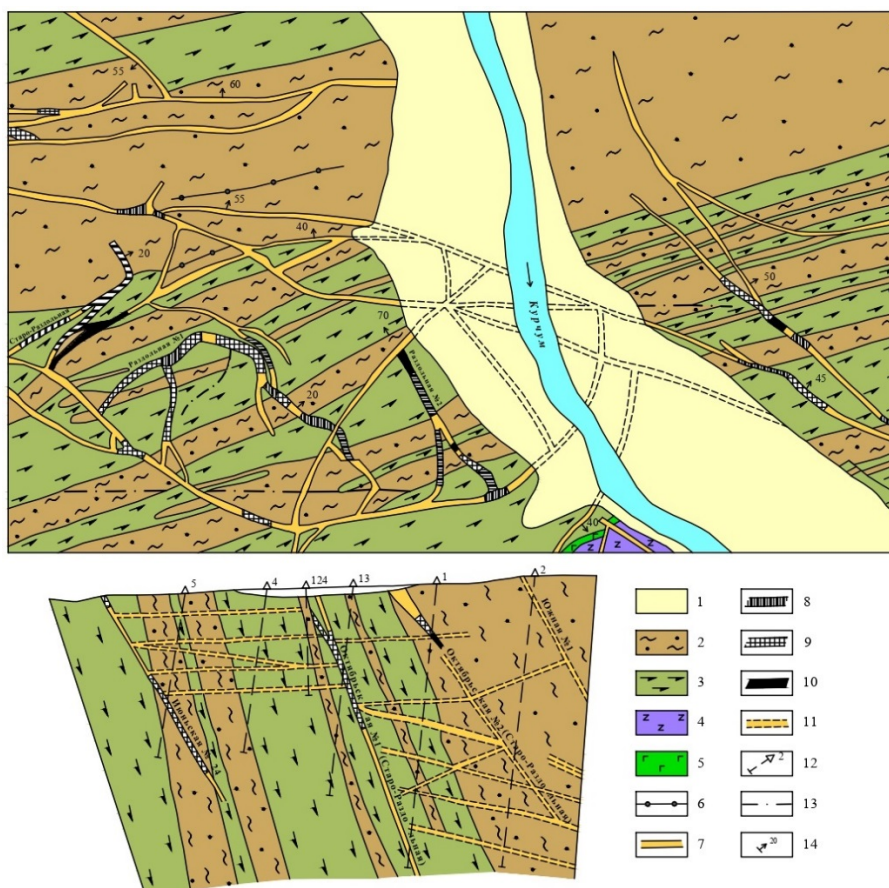


Рисунок 2 – Схема размещения рудных тел на месторождении Маралиха: 1 – рыхлые четвертичные отложения, 2 – биотит-кварц-полевошпатовые кристаллические сланцы нерасчлененные, 3 – амфиболиты, 4 – гипербазиты серпентинизированные, 5 – габбро-диабазы, 6 – дайки гранодиорит-порфиров; 7-11 – рудные тела с содержанием золота (7 – 0-2 г/т, 8 – 2-4 г/т, 9 – 4-10 г/т, 10 – 10-30 г/т) и 11 – предполагаемые; 12 – проектные буровые скважины; 13 – разрывные нарушения (составлена по материалам МД «Востказнедра»)

Главную промышленную ценность на месторождении представляют кварц-лиственитовые зоны с вкрапленным золото-сульфидным оруденением. Всего известно более 27 зон, локализованных в штокверковой системе трещин. Наиболее крупные зоны: Находка, Основательная, Иван, Июньская, Раздольная и др. Простираение зон северо-западное  $280-340^{\circ}$ , падение на северо-восток  $<10-80^{\circ}$ , мощность 0,8-5,0 м. Форма зон пластообразная, линзообразная, ветвящаяся. Внутрируд-

ная тектоника выразилась в дроблении вещества рудных зон, пострудном их частичном смещении. По данным разведочных работ в зоне окисления средняя мощность лиственитовых зон 2,2 м при содержании золота 6-11 г/т. Глубина зоны окисления по падению рудных зон в северо-западной части месторождения составляет 20-60 м, в юго-восточной достигает 100 м. Руды прожилково-вкрапленные, главные рудные минералы – пирит, арсенопирит и золото; к второстепенным относятся халькопирит, галенит, ильменит, магнетит, блеклая руда и тетраэдрит; редко встречаются самородное золото, шеелит, антимонит, борнит, халькозин, пирротин; сопутствующие минералы – кварц, анкерит, кальцит, доломит, серицит, хлорит и другие. Золото образует субмикроскопические и тонкодисперсные включения в арсенопирите и пирите. Пириты сложной формы по результатам масс-спектрометрии содержат примеси (г/т): Au (2,29-12,23), Ag (1,92-15,5), Sb (43,98-467), а также в них отмечены максимальные значения Cu (8320), Zn (1638), Pb (5967), Cr (1200), Ni (1153), Co (624), Ti (4530) и других элементов (рис. 3).

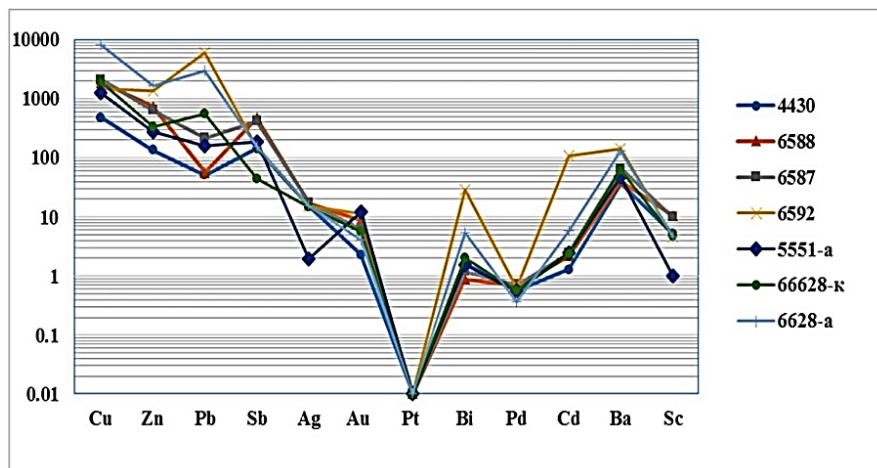


Рисунок 3 – Распределение в пиритах халькофильных и сопутствующих элементов (г/т)  
(аналитик С.Н. Полежаев)

По результатам растровой электронной микроскопии в лиственитах выявлены кристаллы и сростки мышьяковистого пирита, арсенопирита, пиролюзита, ксенотима, ильменита и радиоактивного циркона (примеси Y-8,83, U-3,24 мас. %), рис. 4.

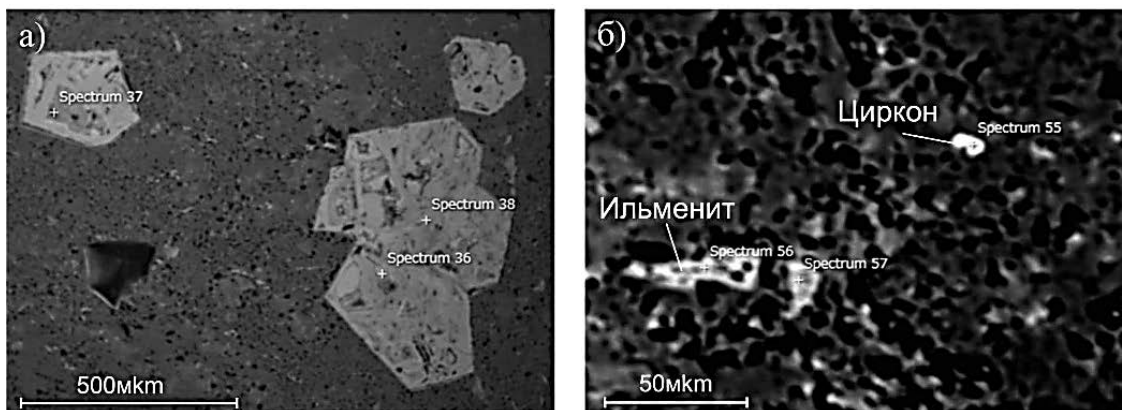


Рисунок 4 – Микровключения минералов в лиственитах месторождения Маралиха. РЕМ-изображения выполнены в лаборатории университета г. Акиты (Япония): а – кристаллы мышьяковистого пирита; б – овалное зерно циркона и вкрапленность ильменита

По исследованиям, выполненным в лаборатории ВКГТУ, в лиственитах главные рудные минералы – пирит и арсенопирит размерами в десятки и первые сотни мкм, а также часто фиксируются микровключения тетраэдрита. Пирит представлен кристаллами призматической и сложной формы (рис. 5, а, б). Арсенопирит образует игольчатые кристаллы и ромбовидной формы, мелкие микровключения отмечаются в краевых частях пирита (рис. 5, б). Тетраэдрит наблюдается в виде вкрапленных зерен в пирите, арсенопирите и образует собственные включения в породной массе (рис. 5 в). Золото субмикроскопической формы фиксируется в кварцевом микропрожилке (рис. 5, г). Кроме того, отмечаются циркон, монацит, ильменит, пиролюзит, иридиеносный ксенотим, шеелит, кальцит, никеленосный окисный минерал (треворит ?) и другие. Для пропилитов характерные микровключения – титаномагнетит, халькопирит, циркон, самородные железо и свинец.

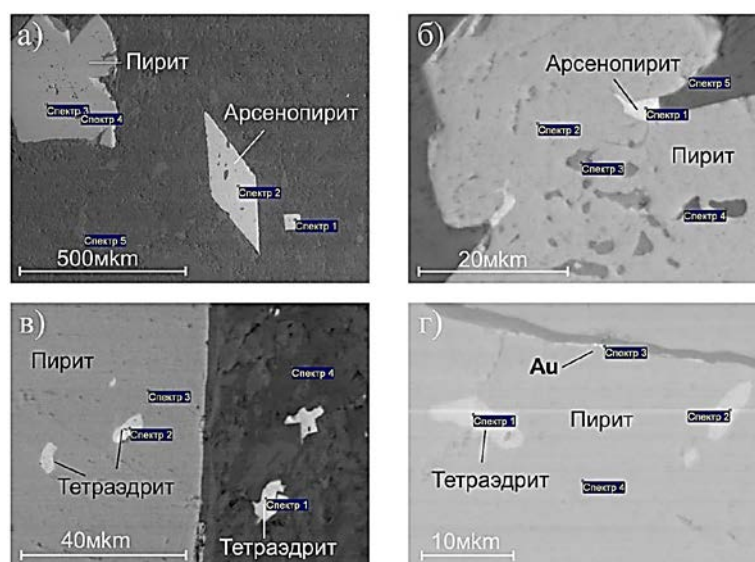


Рисунок 5 – РЭМ-изображения микровключений минералов в рудах месторождения Маралиха (аналитик А. Садибеков): а – арсенопирит призматической формы и комковидное зерно пирита; б – вкрапленность арсенопирита в краевых частях пирита; в – микровключения тетраэдрита в пирите и породной массе; г – субмикроскопическая вкрапленность золота (<1 мкм)

В лиственизированных вмещающих породах, подвергшихся карбонатизации, серицитизации и хлоритизации, по данным спектрометрии повышены содержания (г/т): Fe (80910), Mg (59270), Ca (55020), Al (72160), K (13860) при меньшем значении Na (5301). Среди элементов халькофильной группы аномальными являются Cu, Pb, Zn, As, Bi, Ba (рис. 6). Редкие земли характеризуются равномерным распределением с максимумами Ce, Nd, Gd, Dy, Er, Yb. Повышенные содержания редких элементов зафиксированы в дайке кварцевых порфиров (г/т): Li (1256,38), Rb (1516), Nb (47,38), Sn (58,29), близкие по значению к онгонитам Калбы и Горного Алтая (А.Г. Владимиров и др., 2018). Высокие аномалии Sr (до 500-1000 г/т) отражают, вероятно, глубинный корово-мантийный источник рудоносных растворов (М.Л. Кубийда и др., 2019). Повышенные значения Zr, Y, Th, U отражают акцессории этих пород (циркон, монацит, ксенотим и др.).

Рудные кварцевые жилы ассоциируют в основном с зонами лиственизации, в узлах пересечения трещинных структур развиты кварц-листвениновые штокверки. Кварц светло-серой окраски, обычно трещиноватый, содержит вкрапленность пирита и арсенопирита. Реже отмечаются халькопирит, галенит, блеклые руды, антимонит, шеелит, иногда золото размером до 2-3 мм. По результатам спектральных анализов в кварцевых жилах отмечаются аномалии As и W (более 100 кларков). В лиственитах установлены положительные связи золота с Ti (+0,83), Ag (+0,81), Ni (+0,63), в амфиболитах – с Mo (+0,49), в рудных кварцевых жилах – с Ag (+0,82), As (+0,75). Как видно, золото ассоциирует с элементами разных геохимических групп и имеет несколько генера-

ций. При гравитационном обогащении руд наиболее высокие содержания золота (15,30 г/т) установлены для тонкого гранулометрического класса (-0,074) – выход около 40 % и мелкого (+0,14) при содержании 7,5 г/т – выход 22 %.

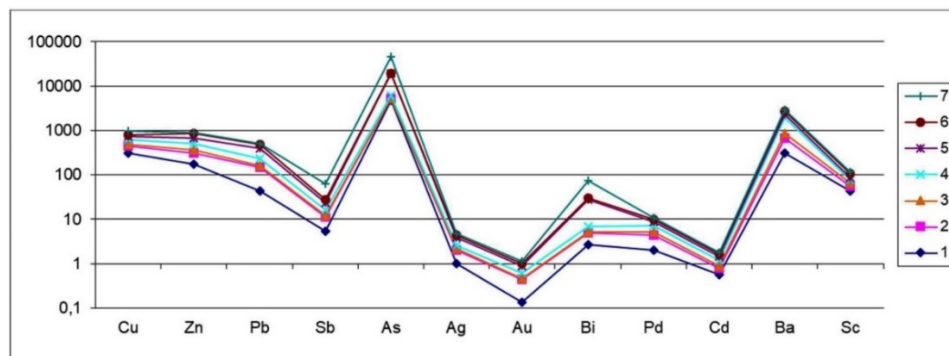


Рисунок 6 – Распределение халькофильных и сопутствующих элементов в породах месторождения Маралиха (г/т). Аналитик С.Н. Полежаев: 1 – амфиболиты, 2 – листвениты с вкрапленностью арсенопирита и пирита, 3 – лиственит с прожилками кварца, 4 – кварцевый порфир, 5 – лиственит с сульфидами, 6 – кварц с гнездами окисленного пирита, 7 – лиственит сульфидизированный

**Закключение.** Уточнены критерии прогнозирования и оценки месторождений золото-лиственитового типа на примере месторождения Маралиха, который по условиям рудообразования в зонах динамометаморфизма и интенсивного проявления гидротермальных процессов относится по разным авторам к метаморфогенному, флюидно-метаморфогенному или метаморфогенно-гидротермальному генезису [3,6,14]. Типовыми являются крупные золоторудные месторождения уровня: Калгурли (Австралия), Сухой Лог (Россия), Бакырчик (Казахстан) и другие. Выявляется определенное сходство месторождения Маралиха с бакырчикским золото-сульфидно-углеродистым типом по приуроченности к глубинным разломам (надвигам), динамометаморфическим преобразованиям вмещающих пород, ассоциации с малыми интрузиями и дайками коллизионного типа и близости вещественного состава руд (пирит, арсенопирит, антимонит и др.). Существенные различия заключаются в составе вмещающей среды, представленной на месторождении Маралиха породами повышенной основности (кристаллические сланцы, диабазы, амфиболиты (PR<sub>1</sub>?), а на Бакырчике – молассовыми отложениями повышенной углеродистости (C<sub>2-3</sub>), что отразилось в специфике метаморфогенно-гидротермального рудообразования и минералого-геохимических особенностях золоторудной минерализации [5, 6].

На месторождении Маралиха ведущая рудоконтролирующая роль придается системе северо-западного глубинного разлома (надвига), в оперяющих трещинно-разрывных структурах которого локализовались основные рудные тела золото-кварц-лиственитового типа. Подчеркивается благоприятная роль амфиболитовых сланцев и амфиболитов в концентрации вкрапленного золото-сульфидного оруденения. Определены поисковые типоморфные минералы оруденения – мышьяковистый пирит, арсенопирит, золото, кварц, сидерит, карбонаты. Геохимическими индикаторами рудообразования являются Fe, Mn, Cu, Pb, Zn, As, Sb, Ag, Bi, W. Руды характеризуются сложным минеральным составом, ассоциация сопутствующих элементов (Ni, Co, Cr, Sr, Y, Nb, U, W) свидетельствует о глубинном источнике рудного вещества.

Месторождение по запасам и прогнозным ресурсам золота имеет промышленное значение. Прогнозные ресурсы могут быть увеличены за счет доразведки недостаточно изученных лиственитовых зон в центральной части месторождения. Кроме того, перспективы связываются с доизучением северо-западного фланга Маралихинского рудного поля на основании продолжения в этом направлении рудоконтролирующего разлома с протрузиями серпентинитов, дайкового пояса, известных здесь рудопоявлений золота и особенно погребенной Покровской россыпи золота. В этой связи месторождение заслуживает дополнительной оценки на флангах и глубоких горизонтах и может быть переведено в разряд средних или крупных объектов.



## Список литературы

1. Инновации и перспективные технологии геологоразведочных работ в Казахстане: Матер. межд. науч.-практ. конф. – Алматы, 2017. – 254 с.
2. Нарсеев В.А., Рафаилович М.С., Дьячков Б.А. Золоторудный потенциал Казахстана // Гигантские месторождения золота Центральной Азии. Укрепление золоторудного потенциала Казахстана: Материалы международного симпозиума. – Алматы, 2014. – С.10-22.
3. Большой Алтай (геология и металлогения): Кн. 2. Металлогения. – Алматы: РИО ВАК РК, 2000. – 400 с.
4. Dyachkov B., Mizernaya M., Kuzmina O., Zimanovskaya N., Oitseva T. Tectonics and metallogeny of East Kazakhstan // Tectonics – Problems of Regional Settings. – 2018. – P. 67-84.
5. Бакырчик: Геология, геохимия, оруденение / отв. ред. Нарсеев В.А. – М.: ЦНИИГРИ, 2001. – 174 с.
6. Дьячков Б.А., Кузьмина О.Н., Зимановская Н.А., Мизерная М.А., Черненко З.И., Амралинова Б.Б. Типы золоторудных месторождений Восточного Казахстана. – Усть-Каменогорск: ВКГУ, 2015. – 204 с.
7. Байбатша А.Б. Модели месторождений благородных металлов: монография. – Алматы, КазНТУ. – 2014. – 452 с.
8. Мизерная М.А., Дьячков Б.А., Мирошникова А.П., Мизерный А.И. Минерагенический анализ магматизма и золотого оруденения на примере Восточного Казахстана. – Усть-Каменогорск: ВКГУ, 2018. – 146 с.
9. Беспяев Х.А., Париков Ю.С. Западно-Калбинский золоторудный пояс (Восточный Казахстан). – Алматы: ИГН им. К.И. Сатпаева, 2018. – 215 с.
10. Jingwen M., Richard J. Goldfarb, Reimar Seeltnan et.al. Tectonic evolution and metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan / Published by CERCAMS, Natural History Museum. – London, 2003. – P. 282.
11. Kozakov I.K., Didenko A.N., Azimov P.Ya., Kirnozova T.I., Sal'nikova E.B., Anisimova I.V., and Ch. Erdenejargal. Geodynamic Settings and Formation Conditions of Crystalline Complexes in the South Altai and South Gobi Metamorphic Belts. Geotectonics. – 2011. – Vol. 45. – №3. – Pp. 174-194.
12. Майорова Н.П., Майоров В.Н. Некоторые особенности геологии и минерагении Южного Алтая / Корреляция алтаид и уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогеническое прогнозирование. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – С. 105-107.
13. Шуликов Е.С. Геолого-металлогенические особенности центральной части Южного Алтая. – Казань: Изд. Казан. ун-та, 1980. – 143 с.
14. Месторождения золота. Metal. Au. 17 pdf. – Foxit Reader. – Режим доступа: [https://geo.bsu.by/images/pres/geol/metal/metal\\_au\\_17.pdf](https://geo.bsu.by/images/pres/geol/metal/metal_au_17.pdf).

Получено 10.04.2020

---

МРНТИ 87.15.15

**Е.Ж. Битманов, К.Б. Масенов**

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

**МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ БЛИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗОН ГОРОДА ПАВЛОДАР**

*В статье рассматриваются основные земельные проблемы, связанные с выбросами вредных веществ, и их влиянием на почву. Дана оценка загрязненности территории близ промышленных предприятий. В результате исследований были определены объемы загрязняющих веществ и рассмотрены меры по предотвращению увеличения загрязнения тяжелыми металлами земельных ресурсов близ промышленных зон города Павлодар.*

*Мақалада зиянды заттардың шығарылуына және олардың топыраққа әсеріне байланысты негізгі жер мәселелері қарастырылады. Өнеркәсіптік кәсіпорындар маңындағы аумақтың ластануына баға берілді. Зерттеу нәтижесінде ластаушы заттардың көлемі анықталды және Павлодар қаласының өнеркәсіптік аймағына жақын жер ресурстарының ауыр металдармен ластануын болдырмау бойынша шаралар қаралды.*

*In article the main land problems connected with emissions of harmful substances, their influence on the soil are considered. An assessment of impurity of the territory near industrial the enterprise is given. As a result a research volumes of pollutants were determined and measures for prevention of increase in pollution by heavy metals of land resources adjacent to industrial regions of the city of Pavlodar are considered.*

**Ключевые слова:** земельные ресурсы, почва, тяжелые металлы.

К одним из основных факторов, проявляющих наиболее выраженное воздействие на здоровье человека, относятся ухудшение качества почвы и нарушение земельного ресурса. Вредные выбросы, исходящие из производственных объектов, а также автомобильных средств, негативно воздействуют на качество земельных ресурсов. Несмотря на маленькие объемы, они представляют особую опасность и для человека, так как обладают токсичностью, и их концентрации даже в незначительном объеме могут привести к плохим последствиям.

Тяжелые металлы отличаются от других металлов высоким содержанием в промышленных отходах и высокой токсичностью, своей долговечностью и практической невыводимостью из системы «почва – растения – животные – человек» (рис. 1).



Рисунок 1 – Почва, загрязненная тяжелыми металлами

Серьезной экологической проблемой за последнее столетие стало интенсивное развитие промышленности и транспортного комплекса, представляющих собой наиболее мощные источники загрязнения вредными ингредиентами. Среди неорганических ксенобиотиков антропогенного происхождения к наиболее опасным и прогрессивно развивающимся в природной среде относятся металлы. Интенсивное промышленное и сельскохозяйственное использование природных ресурсов вызвало существенные изменения биохимических циклов большинства из них [1].

Основные источники загрязнения природной среды тяжелыми металлами можно разделить на естественные (природные) и искусственные (антропогенные). К естественным относят: извержение вулканов, пыльные бури, лесные и степные пожары, морские соли, поднятые ветром, растительность и др. Главными и наиболее опасными источниками загрязнения природы тяжелыми металлами являются антропогенные: предприятия по переработке черных и цветных металлов, тепловые электростанции и теплоцентрали, транспорт, машиностроительная и химическая промышленность, сельскохозяйственное производство, жилищно-коммунальные комплексы [2].

Большие количества тяжелых металлов поступают в окружающую среду в процессе человеческой деятельности. Главными их источниками являются горнодобывающая, металлургическая, химическая промышленности. Тяжелые металлы поступают в почву со сточными водами промышленных предприятий, со свалок, от эксплуатации автотранспорта, с минеральными удобрениями [3].

Опасность загрязнения почвы как фактора риска для здоровья населения определяется ее функциональным использованием. В городах эта проблема связана в основном с загрязнением

почв тяжелыми металлами. Почва обладает высокой сорбционной и аккумулярующей способностью, накапливает и нарушает геохимическую информацию, заложенную природой [4].

Методы исследования содержания тяжелых металлов в почвах имеют широкий спектр.

Основной метод исследования был проведен путем отбора проб почв в городе, а также на участках близ промышленных зон города (рис. 2).



Рисунок 2 – Отбор проб почвы для исследования

В ходе исследования было получено следующее содержание тяжелых металлов в промышленных районах города Павлодар (табл. 1).

Таблица 1

*Отношение содержания элементов в промышленных районах города к фоновому содержанию элементов*

Название элемента	Среднее содержание элемента в городе (мг/кг)	Среднее содержание элемента в промышленных зонах (мг/кг)
хром	0,33-0,4	1 – 1,34
фтор	11-13	21 – 23
железо	90-110	190 – 230

Среднее содержание хрома в промышленном регионе намного превышает фоновое содержание и находится в пределах 1 – 1,34 мг/кг (рис. 3).



Рисунок 3 – Соотношение содержания элемента хрома в городе и в промышленных зонах

Следующий элемент – фтор. Это литофильный элемент, его повышенное содержание было замечено в районах близ промышленных объектов и составляло – 21-23 мг/кг (рис. 4).



Рисунок 4 – Соотношение содержания элемента фтора в городе и в промышленных зонах

Содержание следующего элемента – железа, в районе промышленной зоны и в районе аэропорта достигало отметок в 250-300 мг/кг. Насколько мы знаем, железо один из достаточно распространенных элементов в природе (рис. 5).



Рисунок 5 – Соотношение содержания элемента железа в городе и в промышленных зонах

В результате исследования было выявлено, что территории, близлежащие к промышленным предприятиям, имеют больший объем токсичных элементов по сравнению с городскими.

Мерами для предотвращения загрязнения земельных ресурсов являются:

- проведение частых анализов, ведение мониторинга состояния почвы;
- перевод автомобилей с бензина на газ;
- установка фильтров на промышленные объекты для предотвращения загрязнения почвы большим объемом токсичных элементов;
- сортирование отходов и т.д.

Большое содержание токсичных элементов в почве имеет негативное воздействие на здоровье человека, и поэтому вопрос о сокращении объемов вредных веществ всегда актуален.

Одним из выходов из данной ситуации могут такие действия, как озеленение территории и увеличение растительности в урбанизированных городах, ведь сокращение объемов выбросов



вредоносных веществ – основная цель зеленого производства. Если в двадцатом столетии было сложно представить использование инновационных путей и альтернативных источников энергии, то сейчас сложно представить ситуацию без них.

#### Список литературы

1. Казакова Н.А. Загрязнение почвы тяжелыми металлами // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 1(8). – 29 с.
2. Черных Н.А., Сидоренко С.Н. Экологический мониторинг токсикантов в биосфере. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 430 с.
3. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. – М.: Просвещение, 2008. – 113 с.
4. Мукашева М.А., Мукашева Г.Ж., Нугуманова Ш.М., Казимова А.Е. Загрязнение почвенного покрова территории промышленного города тяжёлыми металлами // Вестник Челябинского государственного университета. – 2013. – № 7. – С. 18-27.

Получено 10.04.2020

---

МРНТИ 36.33.85

**О.А. Дрючкова<sup>1</sup>, С.В. Мамяченков<sup>2</sup>, Д.А. Асанов<sup>1</sup>, Р.А. Быков<sup>1</sup>, М.Б. Кожаканова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург, Россия

#### **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТОНКО ВКРАПЛЕННЫХ УПОРНЫХ ЛЕЖАЛЫХ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНО-ЦИНКОВЫХ РУД**

*Проведены лабораторные испытания по определению процессов рудоподготовки лежалых хвостов обогащения перед флотацией. Установлена необходимость доизмельчения лежалых хвостов до крупности 76,34 % класса – 0,044 + 0 мм. Установлено наличие единичных моделей извлечения меди, цинка и золота от выхода класса крупностью – 0,044 + 0 мм.*

*Определена совместимость графиков извлечения основных ценных компонентов по экспериментальным опытам и теоретическим расчетам.*

*Ескі байыту қалдықтарын флотациялау алдындағы дайындау үрдістерінің зертханалық сынақтары өткізілді. Ескі байыту қалдықтарын 76,34 % – 0,044 + 0 мм классқа дейін ұнтақтау керектігі анықталды. Қалдықтарды ұнтақтауда – 0,044 + 0 мм класс ірілігі шығымының мыс, мырыш және алтынды бөліп алумен байланысын көрсететін модельдер анықталды.*

*Тәжірибелік және теориялық есептеулер бойынша негізгі пайдалы компоненттерді бөліп алу графиктерінің сәйкестігі анықталды.*

*Testing were carried out to determine the processes of ore preparation of stale tailings before flotation. The necessity of additional grinding of stale tails to the size of 76,34 % of the class – 0,044 mm was established. The models of extraction of copper, zinc and gold from the fineness to the grinding of tails are determined. The existence of single models of the extraction of valuable components from the yield of the class size – 0,044 + 0 mm was established.*

*Comparability of schedules of extraction of the main valuable components on experiments and theoretical calculations is defined.*

**Ключевые слова:** техногенные отходы, лежалые хвосты, полиметаллические руды, тонковкрапленные руды, доизмельчение, флотация, модель, графики.

Потребление минерального сырья удваивается каждые 8-10 лет, что приводит к истощению сырьевых ресурсов Казахстана, основу которых составляют разведанные и учтенные еще в период СССР месторождения со значительными запасами преимущественно рядовых и бедных руд, труднообогатимых, залегающих на уровнях со сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями добычи [1].

Доля забалансовых руд возросла за последние 20 лет с 15 до 40 %, содержание цветных металлов и золота в них снизилось в 1,2-1,5 раза.

Перерабатываемые руды обедняются также из-за применения дешевых массовых способов обработки месторождений, высокопроизводительной горной техники, затрудняющей селективную добычу [2].

Низкое извлечение, низкая селективность основных компонентов, высокий расход реагентов, большое время флотации тонких частиц при необходимости измельчения всей массы хвостов до минус 50 плюс 5 мкм склоняют к необходимости применения для тонковкрапленных хвостов обогащения химико-металлургических технологий [3].

Для обогащения труднообогатимых руд используется распространенный флотационный метод, который приобретает все большее значение из-за возрастающих требований к комплексности и полноте использования минерального сырья. Определяющими факторами получения высоких технологических показателей являются подготовленность минерального сырья к обогащению и оптимальность реагентного режима при его флотации [4].

Исследования с целью разработки актуального метода переработки лежалых хвостов Орловской обогатительной фабрики выявили, что данный материал нуждается в предварительной дезинтеграции, доизмельчении и определении крупности.

Химический состав представительной пробы лежалых хвостов Орловской обогатительной фабрики составляет:

Cu – 0,28 %, Zn – 0,44 %, Pb – 0,21 %, Au – 0,76 г/т,

Ag – 25,4 г/т, S<sub>общ</sub> – 8,48 %, Fe<sub>общ</sub> – 24,59 %.

Дезинтеграция лежалых хвостов была проведена методами воздушной сушки, тщательного перемешивания материала при использовании современных методов усреднения твердой массы хвостов.

Для определения гранулометрического состава лежалых хвостов использовался метод ситового анализа [5]. Ситовой анализ осуществлялся путем ручного отсева материала весом пробы хвостов 300 г на ситах с диаметром ячеек 1; 0,63; 0,315; 0,071; 0,044 мм.

Результаты ситового анализа с содержанием и распределением основных элементов по классам крупности хвостов приведены в таблице.

Таблица

*Результаты ситового анализа пробы лежалых хвостов Орловской обогатительной фабрики*

Класс крупности, мм	Выход		Содержание, %				Распределение по классам %			
	г	%	Cu	Zn	Pb	Fe	Cu	Zn	Pb	Fe
+ 2	17,7	5,9	0,9	0,45	1,2	24	16,87	9,66	19,76	5,85
– 2 + 1	13,3	4,43	0,36	1,41	0,5	23	5,07	6,61	6,19	4,21
– 1 + 0,63	6,51	2,17	0,35	0,43	0,6	24	2,41	3,39	3,63	2,15
– 0,63 + 0,315	12,01	4,00	0,33	0,4	0,4	23	4,20	5,82	4,47	3,81
– 0,315 + 0,071	75,04	25,01	0,35	0,34	0,3	21	27,81	30,93	20,95	21,71
– 0,071 + 0,044	42,67	14,22	0,25	0,22	0,2	25	11,30	11,38	7,94	14,70
– 0,044 + 0	132,8	44,26	0,23	0,2	0,3	26	32,34	32,20	37,06	47,56
Итого	300	100	0,31	0,27	0,36	24,19	100	100	100	100

Как показано в таблице, содержание мелких классов крупностью –0,044+0 мм составляет 44,3 %, в них концентрируется 32,34 % меди, 32,2 % цинка и 37,1 % свинца, а также значительное количество железа – 47,56 %. Существенное количество меди и цинка содержится в классах флотационной крупности –0,315+0,071 мм.

По данным результатов ситового анализа построена характеристика крупности лежалых хвостов (рис. 1). По изгибу линии характеристики крупности, очевидно, преобладание мелких классов в лежалых хвостах, т.е. подтверждается наличие шламисто-глинистой массы.

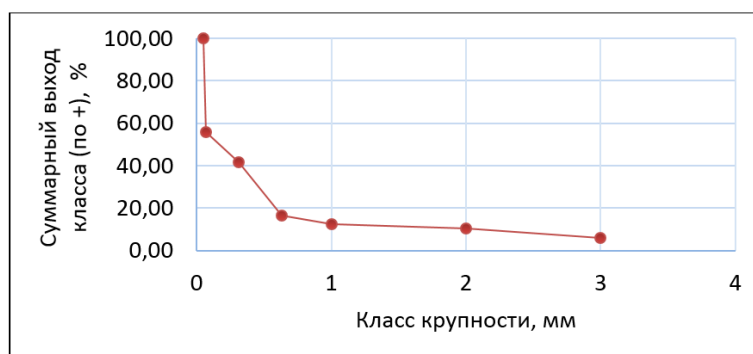


Рисунок 1 – Характеристика крупности лежащих хвостов

Процесс доизмельчения лежащих хвостов проводился в лабораторных условиях с использованием шаровой мельницы с поворотной осью и объемом камеры 1 л. Отношение твердого, воды и шаров (Т:Ж:Ш) составляло 1:1:9.

Оптимальное время доизмельчения определялось интервалом от 15 до 45 минут с последующими опытами по флотации в лабораторных условиях.

Для проведения флотационных опытов использовалась лабораторная флотомашинка «Механобр» с объемом камеры 1 дм<sup>3</sup> при массе пробы 125 г и плотности пульпы 18-19 %.

Исследования обогатимости пробы хвостов методом пенной флотации выполнялись по схеме коллективной флотации с расходом реагентов: карбонат натрия – 300 г/т; сернистый натрий – 500 г/т; жидкое стекло – 600 г/т; бутиловый ксантогенат натрия – 210 г/т; собиратель АЕРО-3418 – 10 г/т и пенообразователь МИБК – 10 г/т. Флотация проводилась в щелочной среде при pH пульпы 9. Общее время флотации – 16 минут.

Результаты опытов были обработаны при помощи компьютерных программ Microsoft Excel и STATISTICA [6].

Результаты опытов коллективной флотации показали, что оптимальные значения извлечения меди, цинка, железа и золота достигнуты при тонине помола 76,34 % класса крупностью -0,044 + 0 мм (рис. 2).

Рис. 2 показывает, что при увеличении тонины помола хвостов класса крупностью -0,044 + 0 мм, извлечение меди, цинка и железа понижается прямо пропорционально. При извлечении золота наблюдаются пики показателей при выходе 89,92 % и 94,91 %.

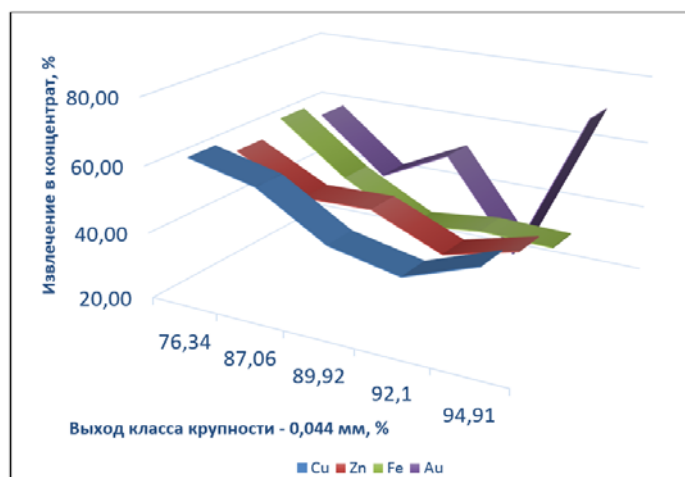


Рисунок 2 – Зависимость извлечения ценных компонентов от выхода концентрата класса крупностью -0,044 + 0 мм

На рис. 3, 4 и 5 приведены зависимости извлечения цинка, меди и золота от выхода класса крупностью - 0,044 + 0 мм. Единичные модели процессов извлечения основных компонентов хвостов выражаются следующими уравнениями:

$$Z_1 = 101,175 + 90,912 * x - 0,894 * y, \quad (1)$$

$$Z_2 = 133,279 - 18,208 * x - 0,881 * y, \quad (2)$$

$$Z_3 = 40,897 + 52,620 * x - 0,455 * y, \quad (3)$$

где:  $Z_1$  – извлечение меди;  $Z_2$  – извлечение цинка;  $Z_3$  – извлечение золота;  $x$  – содержание элемента;  $y$  – выход класса крупностью - 0,044 + 0 мм.

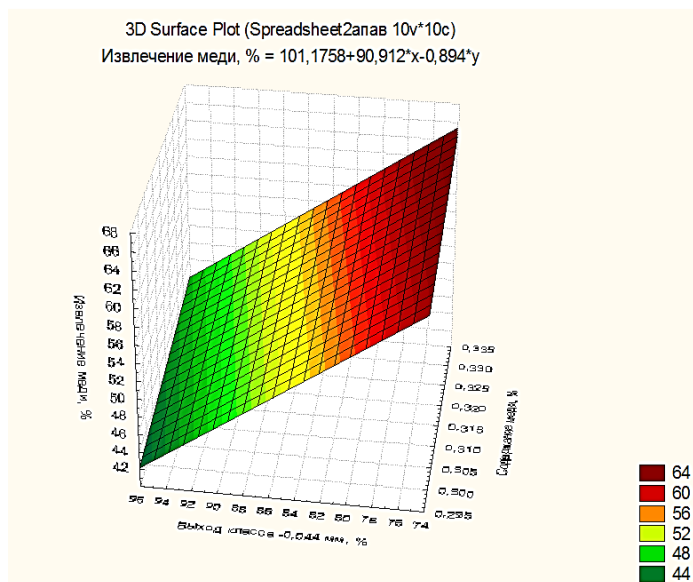


Рисунок 3 – График зависимости извлечения меди в концентрат от выхода хвостов класса крупностью - 0,044 + 0 мм

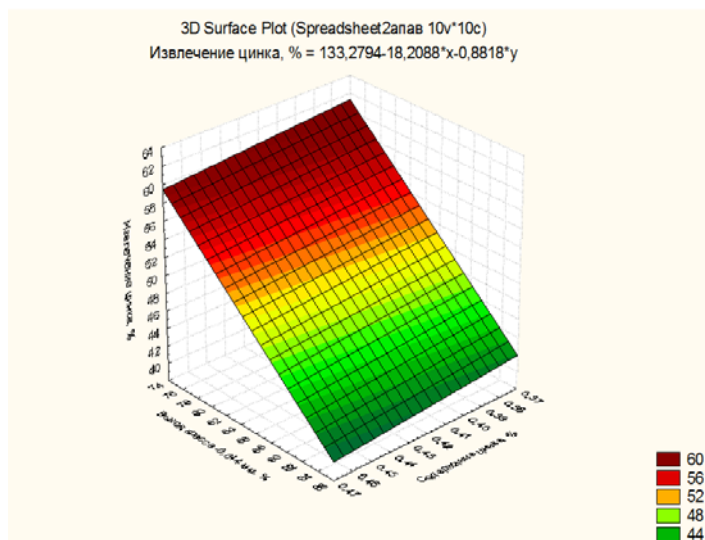


Рисунок 4 – График зависимости извлечения цинка в концентрат от выхода хвостов класса крупностью - 0,044 + 0 мм

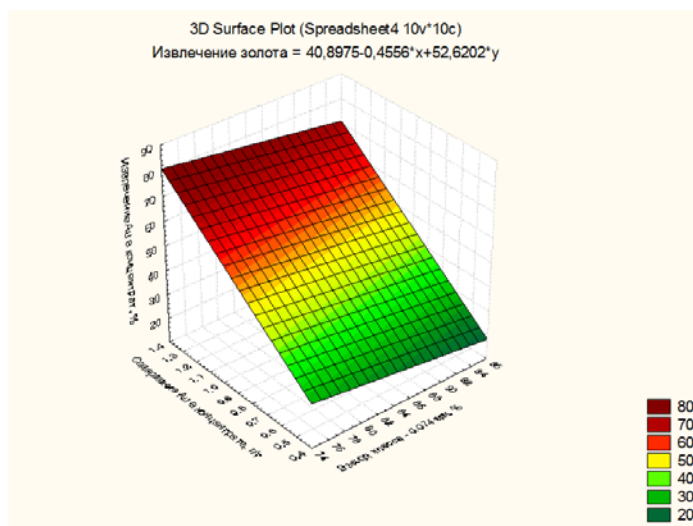


Рисунок 5 – График зависимости извлечения золота в концентрат от выхода хвостов класса крупностью  $-0,044 + 0$  мм

Результаты сравнения извлечения меди, цинка и золота экспериментальных опытов и расчетных значений, в соответствии с уравнениями (1), (2), (3), приведены на рис. 6, 7 и 8.

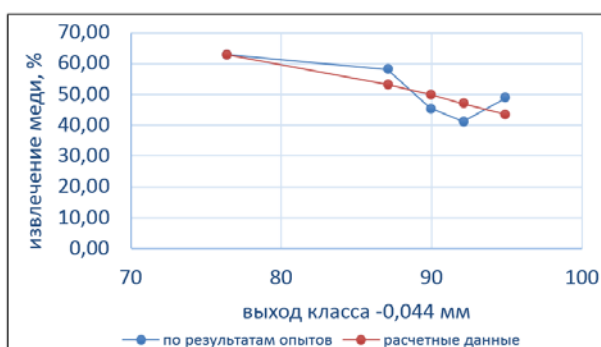


Рисунок 6 – Результат сравнения графиков экспериментальных опытов и теоретических расчетов извлечения меди

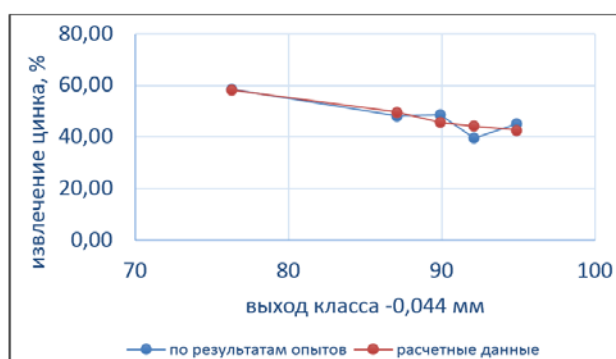


Рисунок 7 – Результат сравнения графиков экспериментальных опытов и теоретических расчетов извлечения цинка

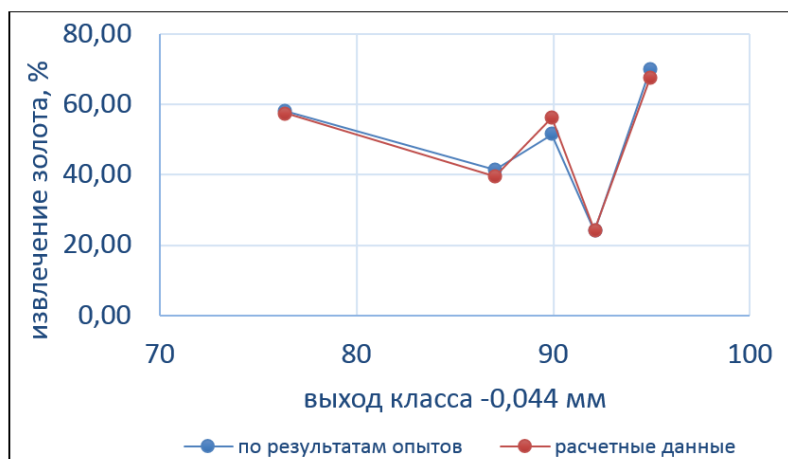


Рисунок 8 – Результат сравнения графиков экспериментальных опытов и теоретических расчетов извлечения золота

На основании проведенных испытаний установлено:

1. Схема рудоподготовки лежалых хвостов определила необходимость использования процессов дезинтеграции, доизмельчения и проведения опытов коллективной флотации для оценки результатов доизмельчения лежалых хвостов.
2. Лучшие показатели извлечения ценных компонентов получены при выходе 76,34 % класса крупностью  $-0,044 + 0$  мм. Оптимальное время доизмельчения лежалых хвостов составляло 15 минут.
3. Установлено наличие единичных моделей извлечения ценных компонентов от выхода класса крупностью  $-0,044 + 0$  мм. На основе данных моделей определена совместимость графиков экспериментальных данных и теоретических расчетов.

#### Список литературы

1. Чантурия В.А. Современные проблемы обогащения минерального сырья в России // Обогащение руд. – М, 2000. – № 6. – С. 3-8.
2. Конев А.В., Шульгина К.А., Миронова Ж.В. Проблемы переработки цветных металлов и золота с предварительным обогащением // Цветные металлы. – 2013. – С. 78-82.
3. Евдокимов С.И., Евдокимов В.С. Переработка лежалых хвостов свинцово-цинковой обогатительной фабрики // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2015. – № 3. – С. 3-11.
4. Руднев Б.П. Обоснование и разработка эффективных методов обогащения текущих и лежалых хвостов обогащения руд цветных, благородных и редких металлов: Дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.13. – МГУ им. Г.И. Носова. – 2004. – С. 26.
5. Митрофанов С.И. Исследование полезных ископаемых на обогатимость. – М.: Госгортехиздат. – 1963. – С. 579.
6. Afifi A., V. Clark, and S. May (2003). Computer-Aided Multivariate Analysis. 4th ed. New York: CRC Press. ISBN 1-58488-308-1.

Получено 10.04.2020

МГТАА 39.19.31

**Н.Қ. Қабдрахманова<sup>1</sup>, М.Н. Мусабасева<sup>1</sup>, Н.Ж. Женсақбаева<sup>2</sup>, Б.Т. Сабырбаева<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ.<sup>2</sup>С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік университеті, Өскемен қ.**ЖОҒАРҒЫ ЕРТІС АЛАБЫ ГЕОЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЛАНДШАФТТЫҚ-ГЕОХИМИЯЛЫҚ  
ЖАҒДАЙЫНА АНТРОПОГЕНДІК ФАКТОРЛАРДЫҢ ӘСЕРІН КЕШЕНДІ ТАЛДАУ**

*Жер үсті суларының геохимиялық құрамы табиғи және антропогендік факторлар жиынтығының әсерінен қалыптасатыны белгілі. Мақалада қазіргі кездегі өзекті мәселеге арналған Шығыс Қазақстан өңірінде табиғи байлықтарды игеруге және өнеркәсіпті қарқынды пайдалануға байланысты жер үсті суларының ластану мәселесі қарастырылған. Сондай-ақ мақалада жоғарғы Ертіс алабына тиетін антропогендік факторлардың әсеріне қысқаша талдау жасалынды.*

*Как известно, геохимический состав поверхностных вод формируется под воздействием совокупности природных и антропогенных факторов. В Восточно-Казахстанском регионе особое место занимает проблема загрязнения поверхностных вод, связанная с освоением природных богатств и интенсивным использованием промышленности. Также был проведен краткий анализ воздействия антропогенных факторов, затрагивающих верхнюю часть бассейна реки Ертыс.*

*The geochemical composition of surface waters is formed under the influence of a combination of natural and anthropogenic factors. In the East Kazakhstan region, a special place is occupied by the problem of surface and underground water pollution associated with the development of natural resources and intensive use of industry. There was also a brief analysis of the impact of anthropogenic factors affecting the upper part of the Ertis river basin.*

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

Жер үсті суларының ластануы мәселесін шешу Шығыс Қазақстан облысындағы қоршаған ортаны қорғаудың басым бағыттарының бірі болып табылады. Өнеркәсіп орындарының көбеюіне байланысты жер беті нысандарының тоқтау суларға және қоқыс тастандыларының көрсеткіші ұлғайғандығы байқалады. Өндірістің ластану факторлары су сапасына басты қауіп төндіреді. Бұл, атап айтқанда, тау-кен өндірісі және кәсіпорындар мен ірі жылу энергетика орталықтары өзен жүйесінің өте тығыз аймағында орналасуына байланысты.

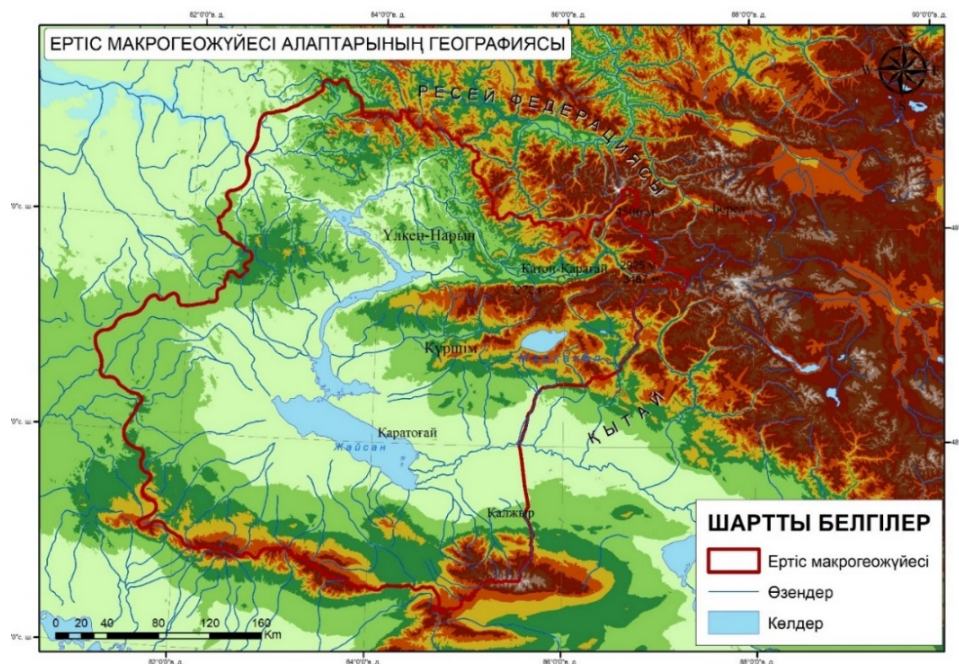
Жалпы облыс территориясында 10 қала, 870 ауыл, 30 кент бар. Елді мекеннің көпшілігі Ертіс өзені мен оған келіп құятын өзендер жағасында орналасқан. Сол себепті өндірістік, тұрмыстық қалдықтар мен ағын сулар жер беті және жер үсті суларын ластанушы көздерге айналып отыр.

Жер үсті суларының қарқынды ластануы полиметалл кендерін өндіру мен байыту аймақтарында байқалады. Қазіргі кезде түсті металлургия өндірістерінің, жылу және су электр станцияларының дамуы жер беті және жер асты суларына техногендік әсерін тигізіп, судың ластану деңгейін арттырып отыр.

Басты су артериясы Ертіс өзені (ұзындығы – 4248 км, облыс аумағында – 1311 км) таулы өзендер Үлбі, Уба, Қарақаба, Қалжыр, Күршім, Нарым, Бұқтырма т.б. өзендері. Облыс аумағында қорғасынның баланстық қорының 27 %, мырыш – 47,7 %, мыс – 47,9 % шоғырланған. Сондықтан қазіргі кездегі өзекті мәселеге айналған Шығыс Қазақстан өңірінде табиғи байлықтарды игеруге және өнеркәсіпті қарқынды пайдалануға байланысты жер үсті және жер асты суларының ластану мәселесі бар [1].

Ертіс өзенінің суы «өте қатты ластанған» су тобына жатады. Химиялық көрсеткіштер бойынша өте қатты ластанған өзендер Бреска, Глубачанка, Тихая, және Үлбі (Тишинский кен орны). Үлбі өзенінің жоғарғы деңгейде мырыш және марганецпен ластануы жағдайлары №2 Тишинский кенішінің қалдықтарын улы элементтерінің сілтісіздендіруімен байланысты. №2 Тишинский кенішінің қалдықтары 1967-1977 жылдар аралығында арнайы дайындықсыз Үлбі өзенінің аңғарына төгіліп отырды (1-сурет) [2].





1-сурет – Жоғарғы Ертіс алабының физикалық картасы

Сонымен қатар облыстағы су нысандарының тау-кен өнеркәсібінің қалдықтары мен ластануының бірден-бір себебі, ерте кездерде де су қорғау жолақтарында және өзендердің маңайында орналасқан тау жыныстарының қалдықтары, қалдық қоймаларының көп болуы. Мысалы, ҮМЗ қоймасы, Согра және Өскемен жылу электр орталықтарының үйінділері, металлургиялық өндірістің шлактар террикондары, қалдықтарды көмуге арналған полигондар және істен шығарылған кеніштер және тау-кен кәсіпорындарының шахталары жатады. Су қоймаларының негізгі ластанулары шахталық сулардың жеткіліксіз тазаланғанынан және мүлдем тазаланбағандығынан болады.

Судың ластану индексі бұл өзендер бойынша соңғы 15 жылда өте төменгі көрсеткішті беріп отыр. Сынап және мырыштың орташа жылдық концентрациясы үнемі мөлшерден асып кетеді. Шығыс Қазақстан облысының территориясындағы бақылауға алынған сулардың сапасы әртүрлі бағыттарда өзгеріп кетті. Соңғы жылдары Красноярка және Уба өзендерінің экологиялық жағдайы жақсарды (сапасы 2-3 класс таза және ластанған) [3].

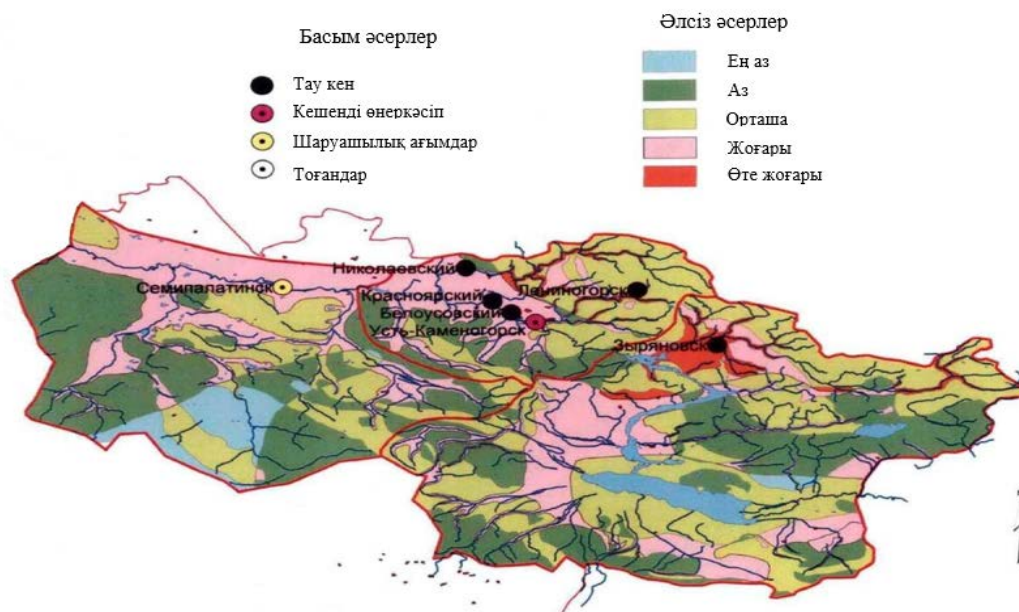
Шығыс Қазақстан облысында ластанған сулардың 72 % қауіпті және өте қауіпті деңгейде ластанған деп сипатталады. Қазіргі кезде күн сайын Ертіс өзенінен алынған су жеті ингредиент бойынша (ауыр металдар, синтетикалық заттар және т.б.) тексеріледі. 17 ингредиент бойынша әр он күн сайын, ал 23 ингредиент бойынша жылына бір рет көршілес Қытай мамандарымен ақпарат алмасады [4].

Мәліметтер бойынша судың ластануы Қытайдан қалыпты ластанған болып және сол көрсеткіш Ресей шекарасына жеткенге дейін сақталады.

Жоғарыда көрсетілген металдар бойынша ШРК қайталануы Қазақстан бойынша алғанда 55-65 %-ға жоғары. Қазақстанда табылған осы ингредиенттер бойынша қауіпті құбылыстардың негізгі бөлігі (85-90 %) Ертіс алабының үлесіне келеді. Әсіресе ауыр металдармен ластануына байланысты қауіпті құбылыстар тек осы алаба ғана байқалады.

Ертіс өзенінің ластану деңгейі одан жоғары орналасқан су пайдаланушыларынан келіп түсетін өнеркәсіптік және тұрмыстық ағынды суларға байланысты, яғни олар өздерінің шайынды суларын тікелей су нысандарына – Ертіс, Үлбі өзендеріне ағызады. Түсті металлургия кәсіпорындарының ағынды сулары Ертіс өзенінің құрамы мен сапасына өте үлкен зиянын келтіреді.





2-сурет – Жоғарғы Ертіс алабындағы антропогендік қысым

Облыс орталығындағы негізгі өзендер Ертіс пен Үлбі қауіптілігі 3-ші санаттағы өзендер сатысына жатады, олардың мыс, мырыш, нитритті азотпен ластанғаны байқалады. Көбірек ластанғаны – Үлбі өзенінің суы. Бұған улы қоспалардың 50 %-ға дейіні тікелей Риддер өндіріс торабынан ағып келіп жатыр.

Үлбі өзенінің суының сапасын су түбінде жатқан төгінділердің мөлшерінен көруге болады. Каменный Карьердің сағасына дейінгі аралықтағы Үлбі түбіндегі төгінділердегі ауыр металдар мөлшері Ертіс өзеніндегіден 3-10 есе көп [5]. Қаланың ағынды суларын тазалаудағы қиын жағдайларға, яғни тазалау қондырғыларының жобалық қуатының жеткіліксіздігіне және тазалау қондырғыларының үшінші кезеңіндегі құрылыс мерзімі созылып кеткендіктен Ертіс өзеніне тәулігіне жете тазаланбаған 200 мың текше метрге дейін шаруашылық-тұрмыстық сулар ағызылады.

Барлық су ресурстары климатпен және басқа табиғи компоненттермен өзара тығыз байланысты. Сондықтан оларды қорғау барысында қатаң талап қойылу керек. Шығыс Қазақстан облысының су ресурстарын тиімді пайдалану, экологиялық жағдайды тұрақтандыру өз маңыздылығына ие.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Мамбетказиева Р.А., Данилова А.Н., Мамбетказиев Е.А. Региональные особенности природной среды Восточного Казахстана // Вестник КАСУ. – 2011. – №6. – С. 35-39.
2. Экологические проблемы и охрана поверхностных вод трансграничного бассейна реки Иртыш // Экология Восточного Казахстана: проблемы и решения: Справочно-информационный вестник. – Усть-Каменогорск: Изд-во ВКГУ, 2002. – С. 40.
3. Омаров М.Н., Жаркинов Е.Ж Загрязнение окружающей среды ВКО промышленными выбросами. – Алматы, 2009. – С. 147.
4. Проблемы загрязнения основных трансграничных рек Казахстана: в 2-х томах / Под редакцией академика РАВН, д.т.н., профессора М.Ж. Бурлибаева. – Алматы: Издательство «Қағанат», 2014.
5. Саиров С.Б., Квитко Н.А., Неб Т.Г., Лищенко М.П. Динамика качества поверхностных р. Ертіс и Үлбі в черте г. Усть-Каменогорска в период за 2005-2009 гг. – Усть-Каменогорск, 2010. – С. 12.

Қабылданды 10.04.2020

MFTAA 52.45.01

**А.М. Мамышева, М.М. Тогузова, М.Е. Рахымбердина, Б.Б. Амралинова, М.З. Тогузов**  
Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті, Өскемен қ.

**ҚАЗІРГІ ЗАМАНҒЫ ҒАЖ-ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ Д. СЕРІКБАЕВ АТЫНДАҒЫ ШҚМТУ АУМАҒЫНЫҢ РАДИОҚАУІПТІЛІГІНІҢ МОНИТОРИНГІН КАРТОГРАФИЯЛЫҚ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІ ӘЗІРЛЕУ**

*Мақалада Д. Серікбаев атындағы ШҚМТУ аймағында радонның Q-тестісі бойынша тақырыптық карталарды құру үшін геоақпараттық жүйелерді пайдаланудың теориялық және әдіснамалық мәселелеріне қысқаша шолу келтірілген.*

*В статье приведен краткий обзор теоретических и методологических вопросов использования геоинформационных систем для создания тематических карт по Q-тесту радона и набора альфа-активности в почве на территорию ВКГТУ им. Д. Серикбаева.*

*The article provides a brief overview of the theoretical and methodological issues of the use of geographic information systems to create thematic maps on the Q-test of radon and a set of alpha-activity in the soil on the territory of EKSTU. D. Serikbayeva.*

Геоақпараттық жүйелердің пайда болуы және өте шапшаң дамуы топографиялық, әсіресе тематикалық картографиялау, карта жасау үрдісін автоматтандырудың табыстарымен, сонымен қатар, компьютерлік технологиялар, информатика және компьютерлік графика саласындағы революциялық жетістіктердің бай тәжірибесіне байланысты [1].

XXI ғ. жаңа технологиялар және нанотехнологиялар заманы. Сондықтан осы заманда әрбір мемлекет жаңа технологияларды жылдам меңгеруге, дамытуға барынша күш салуда. Жаңа технологияларды дамыту әр салада жүреді, сол салалардың ең негізгілерінің бірі – географиялық ақпараттарды дамыту болып табылады.

ҒАЖ шығуы ары қарай қарқынды дамуы топографияның, негізінен тематикалық картографияның тәжірибесіне байланысты дамыды, карта құру процесін автоматтандырудың табысты байқауы, сонымен қатар компьютерлік графика, информатика, компьютерлік технология аумағындағы революциялық жетістік [2].

Топырақтың ластануы деп антропогенді іс-әрекеттің нәтижесінде топырақта зиянды заттар мен организмдердің жиналуын айтады. Олар жануарлардың басты көрсеткіші құнарлығын және өсіретін дақылдардың технологиялық, қоректік және санитарлы-гигиеналық бағалығын, олардың сапасын төмендетеді. Кадастрлық бағалау мақсатында ластану деңгейінің бастапқы көрсеткіші ретінде топырақты ластаушы заттардың шектік рауалы концентрациясын (ШРК) қабылдайды, қоршаған ортаға және адам денсаулығына тікелей немесе жанама негативті әсер ететін максималды концентрация. Топырақтың әртүрлі химиялық заттармен ластану деңгейі топыраққа, өсімдіктерге, жануарларға және адамдарға теріс әсерінің өсуі бойынша үш класқа бөлінген [3, 4].

Өскемен қаласындағы өндірістік кәсіпорындардың көпжылдық жұмысы топырақтың экологиялық жағдайына теріс әсер етті. Мысалы, Өскемен қаласының 240 км<sup>2</sup> территориясында, оның ішінде селитебті зона, қала маңы және қала шетіндегі көкөніс өсіретін саябақтардың топырақтары ауыр металдармен ластанған. Сонғы 12 жылда солтүстік-батыс және оңтүстік-шығыс бағыттарда кеңеюдің және желдің бағытының басым болу салдарынан топырақтың ластануына жоғары және өте жоғары дәрежесі екі есе артты. Топырақтың беткі горизонттарындағы ауыр металдардың салыстырмалы мөлшері келесі шекте ауытқиды: Zn – 21 – 40 %, Pb – 12 – 55 %, Cd – 57 % дейін.

Өскемен қаласы Қазақстанның ірі өндірістік орталықтарының бірі, ол әртүрлі техногендік бағыттағы өндірістік кәсіпорындармен аса қаныққан бірегей урбанизацияланған жүйе. Мұнда салыстырмалы кішкене территорияда түсті металлургияның, атомдық-өндірістік және сирек металдар комплексінің жылуэнергетика, көлік, тамақ, және қайта өңдеу өндірістерінің, коммуналды шаруашылықтың ірі объектілері орналасқан. Көп жылдар бойы антропогендік себепкер шарттардың кешенді әсер етуінен Өскемен қаласы қоршаған ортасының жағдайы көп өзгеріске ұшырады.

Өскеменде техногенді ластаушылардың сандары көп, олардың ішінде өндірістік кәсіпорындарды, көлікті, жанармай құю станцияларын, тамақ өнеркәсібі кәсіпорындарын, жеке меншік үйлерді бөліп айтуға болады.

Соңғы жылдардағы қоршаған ортаға зиян келтіретін техногенді процестердің нәтижесінде пайда болған қалдықтардың микроағзаларға әсерінің тұрақтылығын жоғарылататын және өсуіне жағдай жасайтын мәселелер кеңінен талқылануда. Бүкіләлемдік денсаулық сақтау ұйымының мәліметі бойынша 80 % аурудың түрі қоршаған ортаның ластануынан болатындығын және адам ағзасына улы заттардың 70 % тағам арқылы келіп түсетінін дәлелдеп, адамзат үшін дабыл қағуда.

Техногенді қалдықтармен ластанған жерде металдар жинақталып, осы жерде сараланады. Төменгі сатыдағы өсімдіктер топырақтың құрамындағы органикалық заттарды өсімдіктің сіңіруіне қолайлы жағдайына дейін жеткізеді. Олардың санының және белсенділігінің азаюы өсімдіктің қоректенуіне және топырақтың құнарлылығының азаюына әкеледі.

Техногенді ластанулардың топыраққа әсер етуі барысында миграциялық қабілетінің әлсізденуіне және төменгі сатыдағы өсімдіктер белсенділігі мен таралуының жоғары болатын қара шірік қабатында жинақталуы микробиоценоздар үшін үлкен қауіп тудыруда.

Радон – табиғи радиоактивті газ, түсі, иісі және дәмі жоқ, ауадан 7,5 есе ауыр. Радон уран мен радийдің радиоактивті ыдырауы кезінде пайда болады. Бұл элементтер көп немесе аз мөлшерде жер қойнауында және суда кездеседі. Адам баласы радонды көре, сезіне немесе иіскей алмайды, бірақ қауіпті әсеріне душар болуы мүмкін [5].

2005 жылы Өскемен қаласының экологиялық паспорты жасалынды. Сол кезде мамандар радиоэкологиялық жұмыстардың барлық қолда бар материалдарына тексеру жүргізді. Алынған деректер ШҚО табиғи ресурстар және табиғат пайдалануды реттеу басқармасының ақпараты бойынша радиоактивті ауытқымалар (аномалиялар) мен иондаушы сәулелену көздерінің бірыңғай кадастрына енгізілді.

2006-2016 жылдар аралығында басқарманың деректері бойынша мамандар селитебті аймақтағы сегіз учаскені тазалады. Енді Өскеменнің тұрғын кварталдарында 13 радиациялық дақ нүкте қалды. Қалғандары кәсіпорындардың санитарлық-қорғаныс аймақтарының шектерінде орналасқан және басым аймақтардың қатарына кірмейді.

Реактивті заттар (Радон-222) адам ағзасына айтарлықтай күшті әсер еткенде қайтымсыз өзгерістерге және жасушалардағы мутацияларға, сәулелі және қатерлі ауруларға себепші болады.

Мамандар ШҚМТУ маңындағы ластанған учаске өзінің табиғаты өзгеше, құдды бір нағыз радиациялық қорым іспетті деп есептейді.

Жер бетінде радиациясы жоғары нүктелі учаскелерді тіркей алады. Бірақ грунт қабатының астында есептеулер бойынша шамамен сегіз гектарды құрайтын ластанған бірыңғай дақ жатыр деп пайымдауға жеткілікті негіздер бар. Неғұрлым тереңірек қабаттарда одан үлкенірек болуы мүмкін.

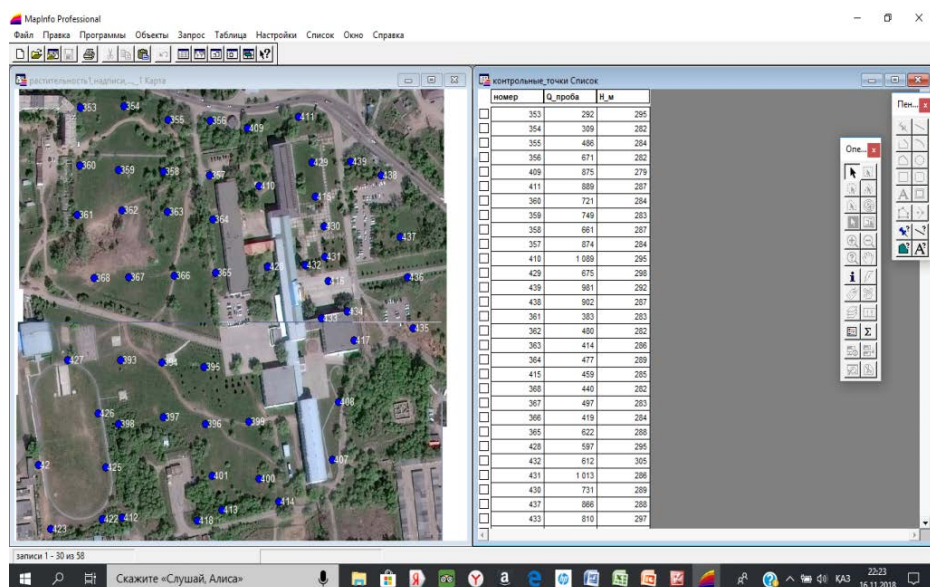
Радиациялық дақты жабу үшін жекелеген учаскелерге құнарлы топырақ тасылып, көгал егіледі. Осының бәрі жер бетіндегі сәулелену деңгейінің азаюына септігін тигізеді.

Аумақты тазарту үшін арнайы қауіпсіздік шараларын сақтай отырып, зақымданған топырақты түгел шығарып, көміп тастау керек. Табиғи ресурстар басқармасының деректері бойынша бір текше метр қатты радиоактивті қалдықтарды көму құны шамамен 800 мың теңгені құрайды. Бес жыл бұрынғы ең қарапайым есептер бойынша Өскемендегі радиациялық дақтарды жоюға миллиардқа жуық теңге қажет.

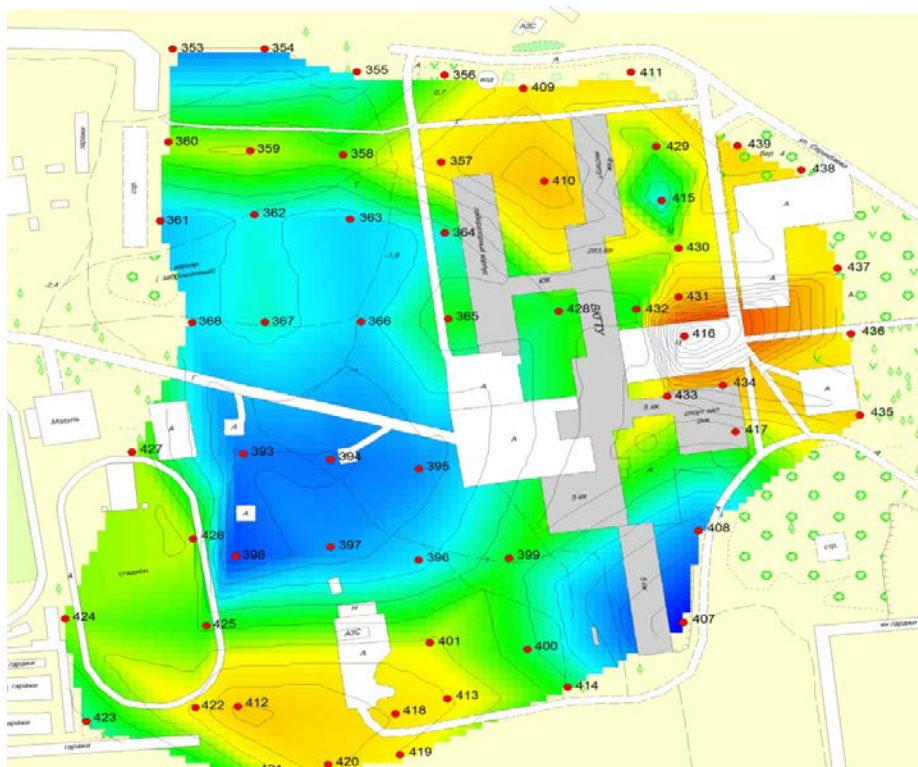
Учаскенің беткі қабатындағы гамма-сәулелену деңгейі сағатына 0,2-0,4 мкЗв құрайды. 2016 жылы мониторингтік зерттеу деректеріне сәйкес Өскемен қаласы үшін аяның деңгейі сағатына 0,1-0,23 мкЗв құрайды. 2017 жылғы 1 шілдеде жүргізілген өлшеу нәтижелері бойынша жылу трассасы траншеяларының бетіндегі және оның бойындағы үймелердің әртүрлі нүктелеріндегі дозаның қуаты сағатына 0,18-0,72 мкЗв құрайды деп анықталды.

Тиімді сәулелену дозасы жылына 5 мкЗв немесе сағатына 2,5 мкЗв аспауы тиіс.

Көптеген зерттеулердің айқын фактіні растайтындығына қарамастан, өңірдегі ірі жоо-лардың бірінің аумағындағы жерлер радиоактивті және қалалықтардың денсаулығына ықтимал қауіп төндіреді. Д. Серікбаев атындағы ШҚМТУ алаңынан алынған топырақтың Q сынамасы (Бк/м<sup>3</sup>) (тереңдігі 0-60 см) зерттелді. Топырақ сынамаларын координата жүйесіне байланыстыру үшін GPS-қабылдағышы қолданылды (1, 2-суреттер).



1-сурет – GPS спутниктік позициялау құралының көмегімен топырақ сынамаларын байланыстыру



2-сурет – Д. Серікбаев атындағы ШҚМТУ территориясына  $Q$  сынамасы ( $\text{Бк/м}^3$ ) бойынша изосызықтарды құру

2014 жылы алынған сынамалардың мәліметтері бойынша Marinfo 12.5 бағдарламасында Д. Серікбаев атындағы ШҚМТУ ауданының векторлық картасы жасалынды. Эксперименттік материалдың математикалық өңдеуі Microsoft Excel бағдарламасының көмегімен жүргізілді.



Радиациялық жағдай – әртүрлі көздермен жасалатын иондаушы сәулеленудің әсерінен адам денсаулығына және адамның өндірістік-шаруашылық қызметі үшін салдардың жиынтығы. Сондай-ақ, радонды зерттеу үшін Д. Серікбаев атындағы ШҚМТУ территориясының радиациялық жағдайының картасы құрылды (3-сурет).



3-сурет – Д. Серікбаев атындағы ШҚМТУ территориясының радиациялық жағдайы

Радиациялық жағдайын зерттей отырып, экспозициялық дозаның ең жоғарғы қуаты (400-ден жоғары, МкР/сағ) университеттің алдыңғы және артқы жағында орналасқанын көруге болады.

Алынған Q сынамасы (Бк/м<sup>3</sup>) бойынша Mapinfo 12.5 бағдарламасында тақырыптық карта құрылды және изосызықтар салынды. Изосызықтарды құру нәтижесінде университеттің алдында топырақ ауасында радон (Rn 222) химиялық заты көп мөлшерде барын байқауға болады.

Д. Серікбаев атындағы ШҚМТУ бас корпусының топырақ ауасында радонның ең жоғарғы деңгейі – 23049,78 Бк/м<sup>3</sup>, ең төменгі деңгейі – 1210,17 Бк/м<sup>3</sup> асып түсті. Яғни, адам денсаулығына көп зиян келтіретінін байқауға болады.

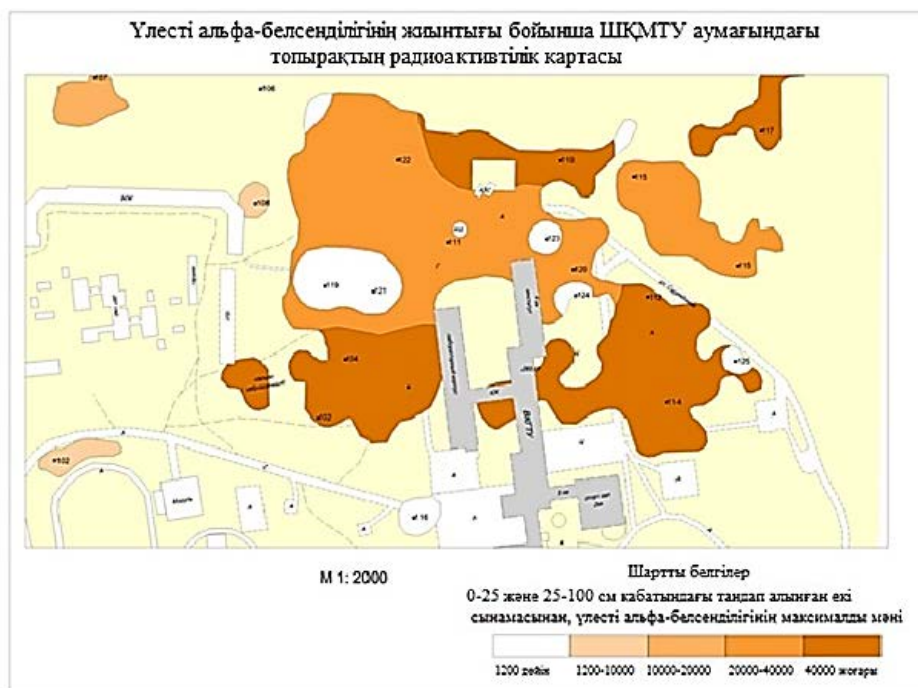
Университеттің учаскесіне ресми түрде ешқандай айрықша мәртебе берілмеген. Осының өзі көптеген зерттеулердің айқын фактіні растайтындығына қарамастан, өңірдегі ірі жоо-лардың бірінің аумағындағы жерлер радиоактивті және қалалықтардың денсаулығына ықтимал қауіп төндіреді.

Радиация деңгейі 0,2-0,6 мкЗв/сағ (20-60 мкР/сағ) рұқсат етілген, ал 0,6-1,2 мкЗв/сағ (60-120 мкР/сағ) жоғары деп саналады.

Радиация деңгейі (дозаның қуаты) үй-жайдың ішінде оның ашық жердегі мәнінен 30 мкР/сағ артық аспауға тиіс.

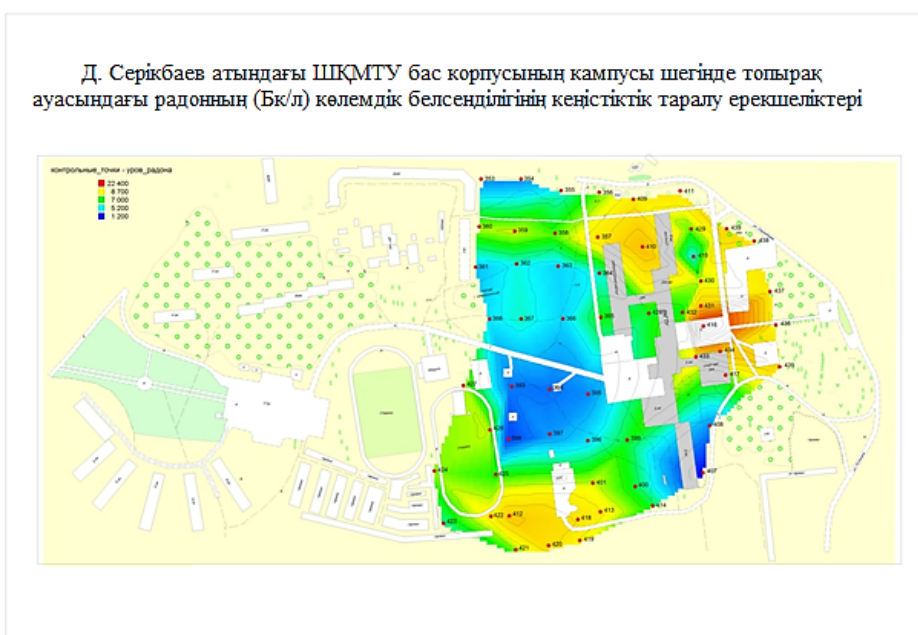
Топырақ сынамаларындағы радионуклидтердің меншікті жиынтық альфа- және бета- белсенділігін зерттеу бойынша тақырыптық карта жасалынды (4-сурет).

0-25 және 25-100 см қабатындағы таңдап алынған екі сынамасынан, үлесті альфа-белсенділігінің мәні бойынша университеттің алдыңғы және артқы жағында максималды (40000 Бк/кт) мәндерін көруге болады. Орташа үлесті альфа-белсенділігін де (10000-20000 Бк/кт, 20000-40000 Бк/кт) ШҚМТУ аймағының көп бөлігінде көруге болады.



4-сурет – Үлесті альфа-белсенділігінің жиынтығы бойынша (Бк/кг) ШҚМТУ аумағындағы топырақтың радиоактивтілік картасы

Д. Серікбаев атындағы ШҚМТУ бас корпусының кампусы шегінде топырақ ауасындағы радонның (Бк/л) көлемдік белсенділігінің кеңістіктік таралу ерекшеліктерінің картасы құрылды (5-сурет).



5-сурет – Д. Серікбаев атындағы ШҚМТУ бас корпусының кампусы шегінде топырақ ауасындағы радонның (Бк/л) көлемдік белсенділігінің кеңістіктік таралу ерекшеліктері

Ұсынылып отырған жұмыста заманауи ГАЗ пайдаланумен Д. Серікбаев атындағы ШҚМТУ аймағының радиоқауіптілігінің тақырыптық карталары құрылды. Топырақ ауасында Радон ( $Rn-222$ ) реактивті затының  $Q$  сараптамасы және үлесті альфа-белсенділігінің жиынтығы көмегімен карта-схемалар құрылды. Бұл тақырыптық карталар мониторинг жасауда ластаушы заттардың орналасуын, таралу жағдайын тамаша көрсетеді, өйткені кейбір құбылыстар мен үрдістерді кестелік түрінде көру мүмкін емес.

Бұл дақтарды жояр алдында дақты мұқият зерделеу қажеттілігін айтпағанда, оның нақты шекараларын дәл айқындап, тиісті дайындық жұмысын жүргізуді қажет етеді. Университет әкімшілігі топырақтағы радиоактивті заттарды сақтау үшін аумақта жөндеу жұмыстарын жоспарлауды, сондай-ақ жолдарды, тұрақтар мен көгалдарды өз орындарында қалдыруды шешті.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Середович В.А. Геоинформационные системы (Назначение, функции, классификация): Монография / В.А. Середович, В.А. Ключниченко, Н.В. Тимофеева. – Новосибирск: СГГА, 2008.
2. Карлик А.П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий: Монография. – Новосибирск. СГГА, 2004.
3. Блисов Т.М. Топырақтану: оқу-әдістемелік құралы. – Қостанай: А. Байтұрсынов атындағы ҚМУ, 2016.
4. Тяжелые металлы в окружающей среде. – Вып. 2. – Новосибирск: ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, 2017. – 241 с.
5. Проблемы Радона [Электрондық ресурс]. – Кіру рұқсаты: [https://vuzlit.ru/1106215/problema\\_radona](https://vuzlit.ru/1106215/problema_radona).

Қабылданды 10.04.2020

---

МРНТИ 52.45.01

**Н.К. Сексенова<sup>1</sup>, Р.А. Быков<sup>1</sup>, М.Б. Кожаканова<sup>1</sup>, Н. Қантай<sup>1</sup>, С.В. Мамяченков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

#### **СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНИРОВАННЫХ СХЕМ**

*В статье приведены направления в области переработки техногенных продуктов горного, обогащенного и металлургического производства. Как показывает практика и исследования переработки этих продуктов, наиболее приемлемые результаты получаются при комбинировании процессов обогащения и гидрометаллургии. При разработке оптимальной комбинированной схемы достигнуты максимальные извлечения ценных компонентов, а также сокращение факторов негативного воздействия на окружающую среду.*

*Мақалада тау-кен, байыту және металлургиялық өндірістің техногендік өнімдерін қайта өңдеу саласындағы бағыттар көрсетілген. Бұл өнімдерді қайта өңдеу бойынша тәжірибе мен зерттеулер көрсеткендей, байыту мен гидрометаллургия процестерін біріктіру арқылы ең жақсы нәтижелерді алуға болады. Оңтайлы аралас байыту – гидрометаллургиялық сұлбаны әзірлеу кезінде бағалы компоненттерді максималды бөліп алуға қол жеткізілді, сонымен қатар қоршаған ортаға теріс әсер ететін факторлар азайтылды.*

*The article presents directions in the field of processing of technogenic products of mining, processing and metallurgical production. As practice and research on the processing of these products show, the most acceptable results are obtained by combining enrichment and hydrometallurgy processes. When developing the optimal combined scheme, the maximum extraction of valuable components was achieved, as well as reducing the factors of negative environmental impact.*

**Ключевые слова:** техногенные продукты, лежалые хвосты, комбинированные схемы переработки, обогащательные процессы, гидрометаллургические процессы, выщелачивание, флотация.

Накопленные и текущие техногенные отходы горно-металлургического производства цветной металлургии могут быть представлены техногенными продуктами, которые условно классифицируются по схеме, приведенной на рис. 1.

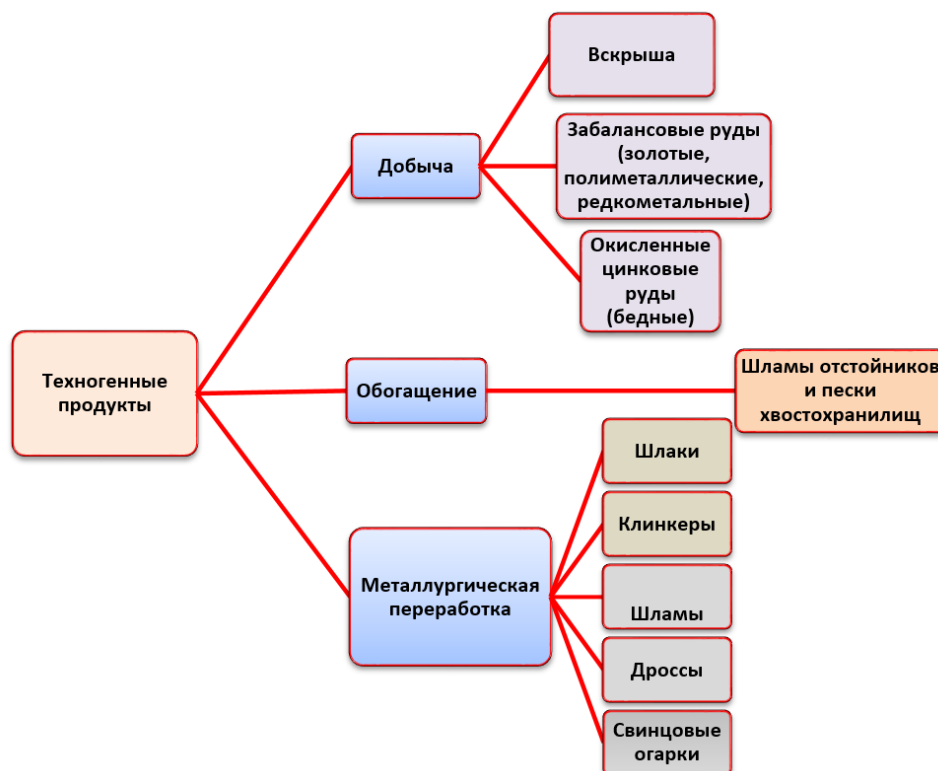


Рисунок 1 – Классификация техногенных продуктов горно-металлургического производства

В настоящее время проводятся многочисленные исследования по переработке техногенных продуктов в странах СНГ и за рубежом [1]:

*1. Выщелачивание техногенных продуктов добычи полезных ископаемых.*

Учеными Института металлургии и обогащения (Казахстан) [2] были проведены исследования по выщелачиванию некондиционных отвалов окисленных медных руд Байского месторождения. Результаты исследований показали возможность выщелачивания меди с извлечением в продуктивный раствор 68,4 % за 120 суток. В сравнении с показателями кучного выщелачивания на Коунрадском месторождении извлечение меди повышается на 3,4 % и продолжительность выщелачивания сокращается на 60 суток.

Аналогичные исследования ведутся и в соседних странах. Например, российскими учеными [3] проведены минералого-технологические исследования бедных медно-никелевых руд Мончеплутон Мурманской области РФ. При переработке сложных руд месторождений Ньюд-П и «Морошковое озеро» методом кучного выщелачивания в течение 60 суток были получены извлечения в продуктивные растворы, %: Ni -15,2, Co - 14,9, Cu - 2,4.

При переработке кучным способом окисленных бедных никелевых руд месторождений Урала [4] было достигнуто извлечение 80 % никеля, что превышает извлечение на 10 % по сравнению с существующими технологиями.



Известно, что имеющиеся запасы руд месторождений и проявлений золотокварцевой формации Забайкальского края [5] с относительно низкими содержаниями представляют собой перспективную сырьевую базу для наращивания объемов кучного выщелачивания этого региона. Исследования в этом направлении показали возможность достижения извлечения золота 62 % при содержании 1,6 г/т в продуктивный раствор при круглогодичном выщелачивании.

Несмотря на перспективность, кучное выщелачивание не находит широкого применения в связи со сложностью получения необходимого качества конечного продукта, длительностью процесса выщелачивания, нерешенностью задач по утилизации и хранению породной массы отвалов после завершения процесса выщелачивания.

*2. Применение обогатительных и обогатительно-гидрометаллургических способов при переработке техногенных продуктов добычи полезных ископаемых.*

В ВКГТУ им Д. Серикбаева [6] проведена работа по переработке бедной окисленной цинковой руды месторождения Шаймерден, представленной окисленными минералами цинка, преимущественно каламином. По комбинированной обогатительно-гидрометаллургической технологии было достигнуто извлечение цинка в продуктивный раствор до 90 %.

Исследователями ВНИИЦВЕТМЕТА [7] была разработана обогатительно-гидрометаллургическая схема переработки забалансовой тонковкрапленной медно-цинковой руды Николаевского месторождения с использованием микроорганизмов. Такой подход к переработке труднообогатимой медно-цинковой руды Казахстана обеспечил получение удовлетворительных показателей по извлечению, %: Cu – 75,37, Zn – 76,3 и благородных металлов – 63,5...67,74.

*3. Применение обогатительных и обогатительно-металлургических способов при переработке техногенных продуктов обогащения руд цветных металлов.*

В настоящее время проводятся поисковые исследования по комплексной переработке лежалых хвостов обогатительных фабрик комбинированными обогатительными и обогатительно-металлургическими методами.

Например, были проведены исследования по переработке хвостов обогащения медно-цинковых руд Белоусовского месторождения [8]. По результатам данной работы было получено извлечение в медно-цинковый продукт, %: Cu – 77,4, Zn – 74,19, Fe – 17,19, Au – 41,98, Ag – 40,75, и в пиритный концентрат, %: Cu – 9,4, Zn – 8,36, Fe – 52,55, Au – 47,71, Ag – 40,75.

Применение модифицированного собирателя при переработке хвостов обогащения руды Тишинского месторождения позволило повысить извлечение в коллективный концентрат, %: Cu – 9,63, Pb – 8,41, Zn – 9,2, Fe – 2,73, Au – 3,57 [9].

Применение модифицированного собирателя при переработке хвостов обогащения руды Риддер-Сокольного месторождения позволило повысить извлечение в коллективный концентрат, %: Cu – 2,31, Pb – 9,12, Zn – 4,61, Fe – 3,68, Au – 10,74 [9].

Проводилось исследование возможности переработки отвальных хвостов обогащения руд цветных металлов комбинированным методом [10]. Предложенная обогатительно-гидрометаллургическая технология показала возможность получения продуктов: цементной меди, цинкового и свинцового концентратов. Извлечение меди в цементную медь составило 44,95 %, цинка в цинковый концентрат – 44,03 % и свинца в свинцовый концентрат – 47,33 %.

При комбинированной технологии выщелачивания лежалых хвостов Белоусовской ОФ с использованием микроорганизмов типа *Thferrooxidans* были достигнуты следующие извлечения в товарные продукты [11]: Cu – 75,66 %, Pb – 63,05 %, Zn – 75,53 %, Fe – 65,8 %, Au – 69,30 %, Ag – 67,36 %.

Исследования по комбинированной флотационно-гравитационной технологии переработки хвостов обогащения были проведены на Кавказе и в Башкирии [12]. Так, например, проведенные СКГМИ исследования на лежалых хвостах обогащения свинцово-цинковой руды Унальского месторождения [12] показали возможность извлечения в тяжелую фракцию: Pb – 56,57 %, Zn – 60,30 %, Au – 28,15 %.

При флотационном обогащении тяжелой фракции, выделенной из хвостов переработки руд Джимидонского месторождения, возможность извлечения составила 84,01 % Pb в свинцовый и 86,06 % Zn в цинковый концентрат [12].

*4. Переработка обогащательными методами техногенных продуктов металлургического производства.*

Примером могут служить переработка клинкеров вельц-процесса цинкового производства УК МК и РМК АО «Казцинк» [13]. При переработке клинкера комбинированной магнитно-флотационной сепарацией было получено извлечение в железосодержащий концентрат %: Fe – 64,68, Cu – 41,02, Zn – 40,95, Pb – 23,65, Au – 53,3 и углерода в углеродсодержащий продукт – 90,19 %.

Практика переработки техногенных продуктов горно-металлургического производства свидетельствует о необходимости использования комбинированных процессов с целью максимального извлечения ценных компонентов и щадящего воздействия технологии на окружающую среду.

Список литературы

1. Берстенов Н.В. «Исследование комбинированной технологии переработки медно-цинковых промпродуктов»: магистерская дис. – Екатеринбург, 2016. – С. 94.
2. Абдылдаев Н.Н., Магад Е., Игнатьев М.М., Койжанова А.К., Магомедов Д.Р. Оригинальное решение проблем выщелачивания отвалов некондиционного сырья: Материалы международной научно-практической конференции. – Алматы: ИМиО, 2018. – С. 247-252.
3. Светлов А.В., Макаров Д.В., Маслобоев В.А. Возможности кучного биовыщелачивания некондиционных медно-никелевых руд и техногенного сырья // Math Designer. – 2016. – № 1. – С. 40-45.
4. Аленичев В.М., Уманский А.Б., Ключников А.М. Разработка технологии кучного выщелачивания окисленных никелевых руд Уральских месторождений. – Томск: Известия ТПУ, 2013. – Т. 322, № 3. – С. 124-128.
5. Мязин В.П., Шестернев Д.М., Баянов А.Е. Техническое решение для реализации технологии круглогодичного кучного выщелачивания в условиях криолитозоны Забайкалья // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: ГИАБ, 2013. – №6. – С. 99-106.
6. Способ переработки окисленной цинковой руды: Патент на полезную модель №2062/ Быков Р.А., Рамазанова Р.А., Ван Е.Ю., Серая Н.В., Мамяченков С.В.; заявитель и патентообладатель РГП на ПХВ ВКГТУ им. Д.Серикбаева; заявка 01.04.2016; опубл. 15.03.2017. – 5 с.
7. Сычева Е.А. Изучение возможности переработки Николаевской забалансовой руды комбинированными обогащательно-металлургическими способами: Сб. трудов ВНИИЦВЕТМЕТ. – Усть-Каменогорск, 1997. – С. 74-77.
8. Комбинированный способ переработки хвостов обогащения полиметаллических руд: Предварительный патент №5305 / Сычева Е.А., Акылбеков А., Ушаков Н.Н., Кушакова Л.Б. и патентообладатель Восточный научно-исследовательский горно-металлургический институт цветных металлов (KZ); заявитель Чаленко В.В.; заявка 20.06.96; опубл. 15.10.97. – 8 с.
9. Семушкина С.В., Турысбеков Д.К., Муханова А.А., Нарбекова С.М., Мухамедилова А.М. Переработка хвостов флотации руд казахстанских месторождений с применением модифицированного флотореагента // Комплексное использование минерального сырья. – 2018 г. – № 1. – С. 5-11.
10. Акылбеков А.А., Быков, Р.А., Кушакова Л.Б. Комбинированная схема переработки отвальных хвостов обогащения руд цветных металлов / А.А. Акылбеков // Совершенствование технологии добычи и производства цветных металлов и пути решения экологических проблем отрасли: Сб. научных трудов ВНИИЦВЕТМЕТ. – Усть-Каменогорск, 1997. – С. 29-33.
11. Сычева Е.А. Исследования по комплексной переработке техногенных отложений Белоусовского и Николаевского горно-обогащательных комплексов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Усть-Каменогорск, 2001. – С. 28.
12. Евдокимов С.И., Евдокимов В.С. Переработка лежалых хвостов свинцово-цинковой обогащательной фабрики // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2015. – № 3. – С. 3-11.
13. Быков Р.А., Скурактовская З.И. Проведение промышленных и полупромышленных испытаний обогащения «лежалого» и «текущего» клинкера ПК РЦЗ АО «Казцинк» методом сухой магнитной сепарации // Отчет НИР. – Усть-Каменогорск: Казцинктех, 2005. – С. 6.

Получено 10.04.2020

МРНТИ 87.29.02

**А.О. Сплодитель<sup>1</sup>, Л.Ю. Сорокина<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семененко НАН Украины, г. Киев, Украина<sup>2</sup>Институт географии НАН Украины, г. Киев, Украина**ЗАДАЧИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТЕХНОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЛАНДШАФТОВ УКРАИНЫ**

В статье рассмотрены актуальные задачи организации и проведения мониторинговых исследований современных ландшафтов. Сформулированы задачи геоэкологической оценки техногенного влияния на состояние ландшафтов Украины. Представлены основные положения разработанной методики ландшафтоведческого анализа состояния окружающей природной среды, основанной на применении современных информационных технологий – географических информационных систем (ГИС) и на интерпретации материалов дистанционного зондирования Земли. Предложена конструктивно-экологическая модель мониторинга техногенных изменений ландшафтов. Приведены примеры мониторинга изменений ландшафтов экологически проблемных регионов Украины, а именно анализ динамических изменений ландшафтов Чернобыльской зоны отчуждения.

Мақалада қазіргі заманғы ландшафтардың мониторингтік зерттеулерін ұйымдастыру мен жүргізудің өзекті міндеттері қарастырылған. Украина ландшафттарының жай-күйіне техногендік әсерді геоэкологиялық бағалау міндеттері тұжырымдалған. Қазіргі заманғы ақпараттық технологияларды-географиялық ақпараттық жүйелерді (ГАЗ) қолдануға негізделген және Жерді қашықтықтан зондау материалдарын интерпретациялауға негізделген қоршаған табиғи ортаның жай-күйін ландшафтанушылық талдаудың пайдалы әдістемесінің негізгі ережелері ұсынылған. Ландшафттардың техногендік өзгерістері мониторингінің конструктивтік-экологиялық моделі ұсынылды. Украинаның экологиялық проблемалы аймақтарының ландшафттарының өзгерістерін мониторингілеу мысалдары келтірілген, атап айтқанда, Чернобыль оқшаулау аймағының ландшафттарының динамикалық өзгерістерін талдау.

This paper deals with the issues of ecological assessment of the technogenic influence on anthropogenic landscape changes in Ukraine. The study provides fundamental statements of the methodology developed based on contemporary informational technologies, in particular the geographic information system for environmental condition management. The article offers constructive and ecological monitoring model of anthropogenically changed landscapes. The paper presents main results of the suggested methodology approbation during the geoecological landscape monitoring of the preserved territories, namely the analysis of the dynamic changes of the landscapes of the Chornobyl exclusion zone.

**Ключевые слова:** техногенные изменения ландшафтов, геоэкологическая оценка ландшафтов, мониторинг, ландшафтоведческий аудит, геоэкологическая оценка.

**Вступление.** Актуальными задачами геоэкологических исследований в Украине является обоснование программы и организация мониторинга ее современных ландшафтов, которые испытывают значительные и разнообразные техногенные воздействия. Разработка исследовательских направлений, сбор и обобщение результатов наблюдений техногенных изменений ландшафтов должны быть основаны на их понимании как целостных природно-антропогенных образований. Формирование целостного представления об актуальном состоянии ландшафтов для оценки их изменений и прогнозирования состояния на локальном, региональном и национальном уровнях предусматривает разработку и использование единого перечня показателей, стандартизации данных и методов их обработки.

**Цель и задачи статьи.** Цель данной публикации – постановка вопроса о целесообразности проведения, формулирование принципов и задач комплексного мониторинга техногенных изменений ландшафтов Украины на основе использования материалов государственного мониторинга окружающей природной среды и результатов других систематических наблюдений за состоянием природной среды и ее компонентов.

**Методы исследования,** применение которых необходимо для проведения мониторинговых исследований техногенных изменений ландшафтов, – это, прежде всего, комплекс аналитических методов, обеспечивающих получение базовой информации о состоянии компонентов природы,

статистические методы, ландшафтоведческий и ландшафтоведческо-геохимический анализ, методы обработки материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационного картографирования.

*Результаты и их обсуждение.* Геоэкологический мониторинг техногенных изменений ландшафтов определяется авторами статьи как информационно-прогнозная система, предназначенная для обеспечения специальных высокоточных наблюдений с целью оценки современного и прогнозного состояния компонентов ландшафта, определения степени и источников антропогенного воздействия на природную среду [1, с. 26]. Мониторинг изменений ландшафтов логично рассматривать как составляющую часть ландшафтного (геосистемного) мониторинга, основы которого сформулированы в работах [2-6 и др.]. Вместе с тем, если ландшафтный мониторинг рассматривается как самостоятельная форма контроля, которая «... не дублирует, не подменяет другие виды мониторинга ... имеет существенные особенности, обусловленные спецификой объектов наблюдения ...» [6, с. 269; 4], то при анализе вызванных деятельностью человека изменений ландшафтов уместным и необходимым является использование в первую очередь всей совокупности показателей, полученных учреждениями – субъектами государственной системы мониторинга окружающей природной среды.

Важным источником информации для мониторинга техногенных изменений ландшафтов также являются материалы дистанционного зондирования Земли. Задача интеграции уже имеющихся источников данных об изменениях компонентов природы представляется особенно актуальной в современных условиях Украины при отсутствии возможностей развертывания новой сети регулярных наблюдений за состоянием ландшафтов.

В соответствии с положениями законодательных документов Украины и нормативных актов, регламентирующих мониторинг объектов окружающей среды, значительная часть показателей, получаемых системой наблюдений, фиксирует именно последствия техногенного воздействия на отдельные компоненты ландшафтов (загрязнение атмосферного воздуха, поверхностных вод, почв, радиационный фон и т.д.) [7].

В государственной системе мониторинга природной среды функции и задачи наблюдений и информационного обеспечения выполняют 8 субъектов системы мониторинга: Министерство энергетики и защиты окружающей природной среды, Государственная служба чрезвычайных ситуаций, Министерство охраны здоровья, Министерство аграрной политики и продовольствия, Министерство регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины, Государственные агентства водных и лесных ресурсов, Государственный комитет по земельным ресурсам. Проведение мониторинга состояния природной среды Чернобыльской зоны отчуждения обеспечивает Государственное агентство Управления зоной отчуждения, деятельность которого координируется Министерством энергетики и защиты окружающей природной среды [8].

Существующая система государственного мониторинга природной среды основана на выполнении распределенных между ее субъектами функций и состоит из подчиненных им подсистем. Несмотря на то, что на уровне отдельных субъектов мониторинга каждая его подсистема имеет свою структурно-организационную, научно-методическую и техническую базу, полученные ими мониторинговые данные несогласованы между собой и имеют точечный или локальный характер. Сети мониторинговых наблюдений, сформированные каждым субъектом мониторинга, включают, в первую очередь, экологически опасные объекты и территории в зонах их влияния, при этом наблюдения за состоянием отдельных компонентов окружающей среды выполняются в различных пунктах, размещение которых определяется наличием источников загрязнения соответствующих компонентов окружающей среды.

Наибольшим территориальным охватом характеризуется сеть мониторинга состояния почв, который предоставляет информацию о загрязнении сельскохозяйственных земель (выполняются радиологические, агрохимические и токсикологические измерения, определяются остаточные количества пестицидов, агрохимикатов и тяжелых металлов). Регулярностью и значительным территориальным охватом характеризуется экологический мониторинг промышленных зон, в том числе мест хранения или захоронения токсичных отходов, а также мониторинг состояния почв в зонах жилых массивов.

Проведение синхронных наблюдений за состоянием различных компонентов природы предусмотрено программами фонового мониторинга. Его результаты предоставляют комплексные сведения о состоянии ландшафтов заповедных территорий, а именно биосферных заповедников Украины, удаленных от источников техногенного воздействия, и рассматриваются как эталонные показатели состояния окружающей среды.

Комплексный мониторинг состояния ландшафтов и их антропогенных изменений как регулярные научные исследования локального характера выполняется только в отдельных регионах Украины на немногих географических стационарах, подчиненных высшим учебным заведениям или научным учреждениям. Наиболее полные программы и длительные ряды регулярных наблюдений функционирования и динамики ландшафтов имеют географические стационары Львовского национального университета: Росточский (зона широколиственных лесов), Черногорский (Украинские Карпаты, массив Черногора), Шацкий (Украинское Полесье) и другие.

Обобщенные результаты государственных мониторинговых наблюдений локального, регионального и национального уровней традиционно представляются для административных единиц (крупные города, административные районы, области, Украина в целом) как отдельные разделы в аналитических обзорах «Состояние окружающей среды в Украине», где приведены данные о состоянии атмосферного воздуха, поверхностных вод, почв и т.д. Такие усредненные данные информативны для регионов в целом, но не могут быть использованы для анализа техногенных изменений природных территориальных единиц.

Для задач комплексного мониторинга техногенных изменений ландшафтов необходимы систематизация и согласование первичной информации, полученной на пунктах наблюдений, ее территориальная привязка, сопоставление показателей, характеризующих техногенные изменения отдельных компонентов ландшафтов, и установление зависимостей между ними.

Очевидно, что при анализе взаимозависимостей между состоянием отдельных компонентов природы в центре внимания должны быть показатели состояния почв. Именно почвы на длительное время депонируют загрязняющие вещества. Наиболее достоверно прослеживается взаимосвязь между показателями загрязнения в системах «атмосферный воздух – почвы», «почвы – поверхностные воды», «почвы – растительность».

Имеющиеся мониторинговые данные при их анализе на основе среднемасштабных ландшафтных карт могут служить базовой информацией для установления ландшафтозависимых закономерностей изменений окружающей среды, которые прослеживаются на региональном уровне. Важную информацию о ландшафтах и их динамических изменениях, вызванных деятельностью человека, оказывают открытые источники современных и архивных данных ДЗЗ. Их использование и интерпретация вместе с базовой информацией о ландшафтной структуре территорий дают возможность проанализировать характер и пространственно-временную динамику техногенных изменений ландшафтов.

Стоит отметить, что анализ изменений в структуре ландшафтного покрова (land cover), полученный на основании интерпретации спутниковых снимков, который иногда трактуется как анализ антропогенных изменений ландшафтов и их динамики, является лишь небольшой внешней, визуализированной частью тех изменений, которые связаны с деятельностью человека, ее прямыми и опосредованными последствиями. Как известно, применение современных ГИС-программ для обработки материалов ДЗЗ в различных спектральных диапазонах дает возможность получения целого ряда показателей состояния ландшафтов, изменения которых являются зависимыми и от природных процессов, и от характера антропогенных воздействий (например: вегетационные индексы, показатели влажности, гранулометрического состава и засоления почв и т.д.) [9].

В качестве примера анализа материалов ДЗЗ для выполнения задач мониторинга изменения состояния ландшафтов экологически проблемных территорий Украины приводим результаты дешифрирования спутниковых снимков Landsat (время съемки – август 1992 г.) и Sentinel (август 2018 г.), которые иллюстрируют смену состояний земного покрова ландшафтов этой территории, происходящих вследствие природных процессов их возобновления, а также в результате техногенной деятельности, направленной на минимизацию радиоактивного загрязнения территории, на выполнение зоной отчуждения барьерной функции (рис. 1).

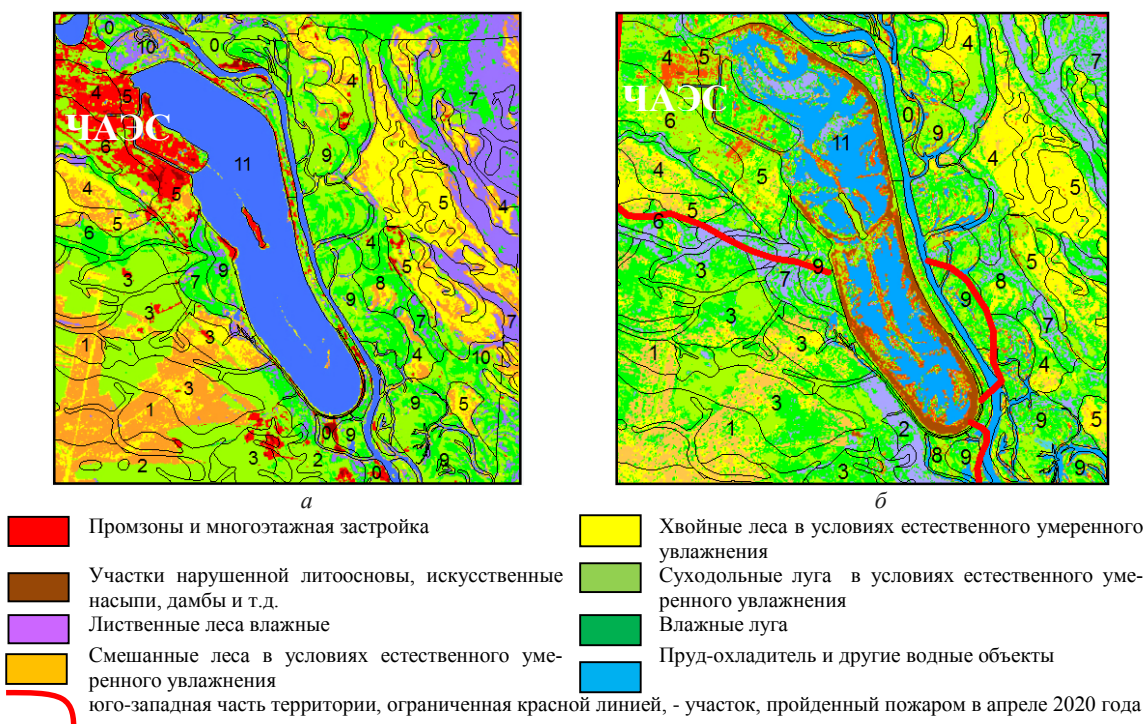


Рисунок 1 – Украина. Чернобыльская зона отчуждения (центральная часть). Изменение состояний земного покрова (land cover) ландшафтов по данным дешифрирования спутниковых снимков: а – Landsat (август 1992 г.) и б – Sentinel (август 2018 г.)

Одна из важных мониторинговых задач для Украины в целом и для территории Чернобыльской зоны отчуждения – мониторинг и управление пожарами в природных экосистемах. Решению этих проблем уделено много внимания. Исследования, которые выполняются в этом направлении, связаны использованием методов наблюдения и прогнозирования лесных пожаров с использованием оперативных данных ДЗЗ [10]. Вместе с тем, большинство пожаров имеют техногенное происхождение – до 90-95 % возгораний природных экосистем происходят в результате неосторожного обращения с огнем, умышленных подпалов (выжигание сухой травы на сельскохозяйственных угодьях и пр.). В результате катастрофических пожаров в Чернобыльской зоне отчуждения в апреле 2020 года пострадало около 11500 гектаров лесных и залежных территорий. Поэтому одной из актуальных задач геоэкологического мониторинга является оценка и прогноз пожароопасности ландшафтов, которая предусматривает изучение пирологических характеристик природных растительных группировок и анализ изменений состояния ландшафтов с учетом предполагаемых направлений техногенной нагрузки на ландшафты.

Цифрами на рис. 1 обозначены ландшафтные комплексы [11]:

- равнины водно-ледниковые (1) и моренно-водно-ледниковые (2-3), сложенные пылеватыми песками с прослоями оглиненных песков, с дерново-подзолистыми почвами, свежесуборовые;
- надпойменные террасы выравненные (4) и бугристые (5), сложенные песками или песками с прослоями суглинка (6), с дерново-подзолистыми почвами, сухоборовые, в межбугристых понижениях – свежесуборовые, свежесуборовые;
- поймы низкие, заболоченные с торфяниками под черноольшанниками и болотнотравно-осоковыми группировками (7);
- поймы среднего (8-9) и высокого (10) уровня, сложенные разноразмерными и/или пылевыми (10) песками, с алювиальными дерновыми, в понижениях – болотными почвами, под разнотравно-влаготравными группировками;
- водные объекты (11).



В табл. 1 и на рис. 2 приведены данные об изменении структуры наземного покрова (land cover) ландшафтов проанализированной части Чернобыльской зоны отчуждения с учетом территорий, пострадавших от пожаров в 2020 г.

Таблица 1

*Изменения структуры наземного покрова ландшафтов Чернобыльской зоны отчуждения (центральная часть), % от общей площади проанализированной территории*

Годы	Виды земного покрова (land cover) ландшафтов													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1992 г.	5,3	1,6	13,2	6,5	8,4	0,02	12,5	13,3	0	13	1,1	7,4	0,3	17,4
2018 г.	1,1	4,4	11	4	10,9	1,7	5,5	16,2	0,1	10,6	0,2	22,7	0,4	11,2
2020 г., территории, пройденные пожаром	0,02	0,06	3,6	3,5	1,6		1	2,5		2,1	0,1	6,9	0,1	0,02

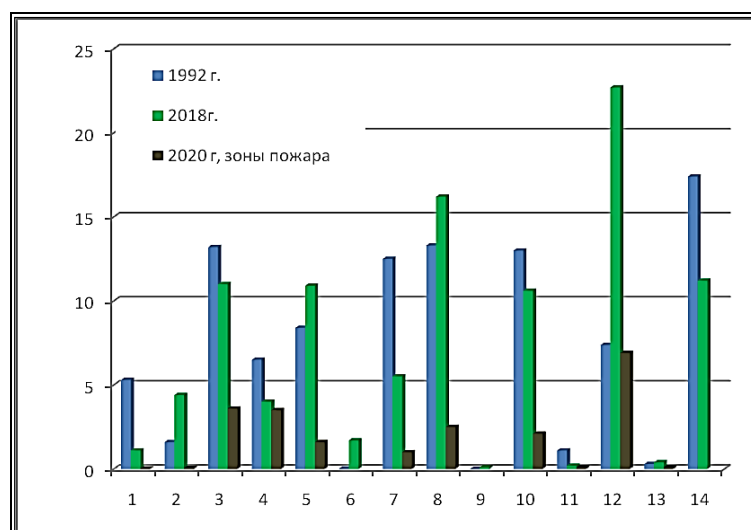


Рисунок 2 – Изменения структуры наземного покрова ландшафтов по данным дешифрирования спутниковых снимков Landsat (август 1992 г.) и Sentinel (август 2018 г.), в % от общей площади проанализированной территории центральной части Чернобыльской зоны отчуждения

Индексы в табл. 1 и на рис. 2: 1 – промзоны и городская застройка; 2 – участки нарушенной литосферы, искусственные насыпи, дамбы и т.д.; 3 – многолетние залежи в условиях естественного увлажнения; 4. Многолетние залежи на мелиорированных землях; 5 – лиственные леса влажные; 6 – лиственные леса влажные на месте уничтоженных при дезактивации населенных пунктов; 7 – смешанные леса в условиях умеренного природного увлажнения; 8 – хвойные леса в условиях естественного умеренного увлажнения; 9 – хвойные леса в условиях естественного умеренного увлажнения на месте уничтоженных населенных пунктов; 10 – суходольные и пойменные луга в условиях умеренного увлажнения; 11 – суходольные луга в условиях умеренного увлажнения на месте уничтоженных населенных пунктов; 12 – влажные луга; 13 – влажные луга на месте уничтоженных населенных пунктов; 14 – водные объекты.

Использование результатов наблюдений государственного мониторинга окружающей природной среды и данных дистанционного зондирования Земли как двух основных источников базовой информации о характеристиках и показателях изменений ландшафтов дает возможность сформулировать следующие актуальные задачи реализации мониторинга техногенных изменений ландшафтов:

- обеспечение мониторинговых исследований кондиционными картографическими данными о ландшафтных и ландшафтно-геохимических условиях региона;
- формирование программ мониторинга изменений ландшафтов, характеризующихся различными видами и уровнями антропогенных нагрузок;
- анализ и обработка на ландшафтной основе ведомственных баз данных мониторинговой информации об изменениях компонентов окружающей природной среды;
- установление ландшафтно обусловленных взаимозависимостей между показателями загрязнения отдельных компонентов ландшафта;
- пространственно-временной анализ техногенных изменений ландшафтов с использованием материалов ДЗЗ и обнаружения проявления экологически опасных природных и природно-антропогенных процессов. Как и результаты регулярных наблюдений за состоянием отдельных компонентов окружающей природной среды, мониторинг техногенных изменений ландшафтов предназначен для оценки и контроля за природными и антропогенно модифицированными геосистемами (ландшафтами) и процессами, происходящими в них [6], а также для предоставления базовой информации для прогнозирования изменений, которые могут быть вызваны техногенными нагрузками, развитием природно-антропогенных процессов.

Особенностью комплексного мониторинга техногенных изменений ландшафтов является обобщение и интеграция имеющихся данных мониторинговых наблюдений, их дополнение комплексными показателями, которые могут служить для более достоверной геоэкологической оценки современного и прогнозируемого состояния техногенно измененных ландшафтов.

#### Список литературы

1. Сплодитель А.О., Сорокина Л.Ю. Мониторинг антропогенных изменений ландшафтов Украины: принципы организации, методы анализа данных дистанционного зондирования Земли и ГИС-моделирования // Вопросы географии и геоэкологии. – 2018. – № 4. – С. 25-39.
2. Герасимов И.П. Принципы и методы геосистемного мониторинга // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1982. – № 2. – С. 5-12.
3. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – 2-е изд., перераб и доп. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.
4. Мельник, А.В. Міллер Г.П. Ландшафтний моніторинг. – Київ, 1993. – 152 с.
5. Пастернак А.К. Ландшафтный мониторинг среды обитания биоты // Фундаментальные исследования. – 2005. – № 2. – С. 130-131; URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=5802>
6. Фононий моніторинг навколишнього природного середовища: Монографія / За редакцією М.М. Приходька. – Івано-Франківськ: Фоліант, 2010. – 324 с.
7. Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля: Постанова Кабінету Міністрів України від 30.03.1998 № 391. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-p>.
8. Министерство энергетики и защиты окружающей природной среды Украины. Официальный сайт. – URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/>
9. Дорожинський О., Колб І., Дорожинська О. Фотограмметрія, геоінформатика, дистанційне зондування в дослідженнях культурного ландшафту // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2009. – Вип. 71. – С.108-121.
10. Концепція інтегрованого міжвідомчого управління природними пожежами у зоні відчуження. – Регіональний Східноєвропейський центр моніторингу пожеж, 2018. – 34 с. – URL: <https://nubip.edu.ua/node/9083/11>
11. Давыдчук В.С., Зарудная Р.Ф., Михели С.В. и др. Ландшафты Чернобыльской зоны и их оценка по условиям миграции радионуклидов / под ред. А.М. Маринича. – Киев: Наукова думка, 1994. – 112 с.

Получено 10.04.2020

МРНТИ 53.37.35

**К.О. Сураужанов, М.З.Тогузов**Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ ХЛОРИДНЫХ ОТХОДОВ ТИТАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*В статье рассмотрена проблема потери ценных компонентов с хлоридными отходами, образующимися при хлорировании титанового шлака в процессе производства тетрахлорида титана. Приведены результаты исследования хлоридных отходов АО «УК ТМК». Предложены способы переработки возгонов пылевых камер и шлама пылеосадительной камеры с солевой ванной.*

*Мақалада титан тетрахлоридін өндіру барысында титан қожын хлорлау кезінде алынатын хлоридті қалдықтармен құнды компоненттерді жоғалту мәселесі қарастырылған. «ӨТМК» АҚ хлоридті қалдықтарын зерттеу нәтижелері келтірілген. Шаң камераларын айдау мен тұз ваннасы бар шаң отырғызу камерасының шламын қайта өңдеу тәсілдері ұсынылды.*

*The article deals with the problem of loss of valuable components with chloride waste obtained during the chlorination of titanium slag during the production of titanium tetrachloride. The results of the study of chloride waste of JSC «UK TMK» are presented. The methods of processing of dust chamber fires and sludge of a dust-collecting chamber with a salt bath are proposed.*

**Ключевые слова:** хлоридные отходы, возгоны пылевых камер, шлам пылеосадительной камеры с солевой ванной, отработанный расплав титановых хлораторов, титановый хлоратор, титан, ниобий.

Крупнейшими производителями титановой губки являются шесть стран – в порядке объемов производства, это Китай, Япония, Россия, Казахстан, США и Украина [1].

В 2014 году Китай предоставил 34 % титановой губки, производимой по всему миру, причем общая производственная мощность достигала 150 000 тонн в год. За 2017 год в мире произвели титановой губки: Китай – 60 тыс. тонн, Япония – 48 тыс. тонн, Россия – 40 тыс. тонн, Казахстан – 9 тыс. тонн и Украина – 8 тыс. тонн [1].

В 2018 году Казахстан, согласно статистике по внешней торговле, экспортировал в США 1,9 тыс. тонн губчатого титана на сумму 13,3 млн долларов. В 2017 году продажи UK TMR International, дочерней компании Усть-Каменогорского титано-магниевого комбината (УКТМК), превысили 142 млн долларов, из них 11,5 % пришлось на американский рынок, указывается в отчетном документе лондонской компании [2].

По данным проведенных аналитических исследований «International Marketing Research Group» на рынке титана и редкоземельных металлов в мировой торговле наблюдается увеличение их поставок по сравнению с предыдущими годами [2].

Процесс Кроля является основным методом получения титановой губки во всех странах мира. Он заключается в магнетермическом восстановлении тетрахлорида титана.

В процессе производства тетрахлорида титана хлорированием титанового шлака в шахтных хлораторах образуются отходы, переработка которых в современном мире достаточно актуальна.

Промышленные отходы представляют опасность для окружающей среды, загрязняя почвы и природные воды при выбросах их в атмосферу, при сбросе формирующихся промышленных сточных вод в водные объекты, а также при размещении твердых отходов в шламохранилищах [3].

Эти отходы образуются при хлорировании титанового шлака в расплаве солей, очистке парогазовой смеси в системе конденсации и в пылеосадительных камерах с солевой ванной. Это – отработанный расплав титановых хлораторов, возгоны пылевых камер и шлам пылеосадительной камеры, соответственно. Также при получении ванадия из кубовых остатков ректификации образуется шлам ванадиевых хлораторов [4]. Внешний вид хлоридных отходов представлен на рис. 1.

Объем образующихся отходов зависит от объема производства тетрахлорида титана, степени хлорирования, эффективности систем очистки парогазовой смеси, а также от качества титанового шлака [5].

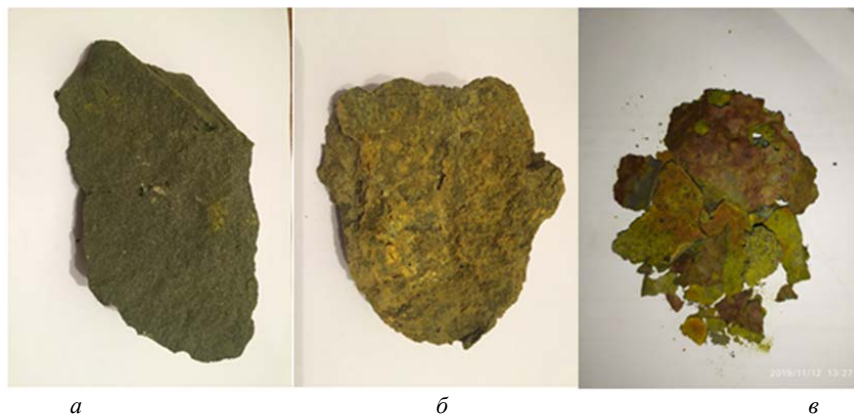


Рисунок 1 – Хлоридные отходы: а – отработанный расплав титановых хлораторов; б – шлам пылеосадительной камеры с солевой ванной; в – возгоны пылевых камер

На АО «Усть-Каменогорский титано-магний комбинат» при максимальной загрузке мощностей ежегодно образуется до 76 тыс. т хлоридных отходов. Общий объем отходов на трех хвостохранилищах составляет более 1,5 млн. т.

Образующиеся хлоридные отходы составляют значительную часть общего объема образующихся технологических отходов: отработанный расплав титановых хлораторов (ОРТХ) – 30000 т (39,5 %); шлам ванадиевых хлораторов – 3000 т (3,9 %); возгоны пылевых камер – 4000 т (5,2 %); шлам пылеосадительной камеры с солевой ванной (ПКС) – 28000 т (36,9 %). Месячный план образования промышленных отходов при производстве тетрахлорида титана АО «УК ТМК» представлен в табл. 1.

Таблица 1

План объемов образования хлоридных отходов в месяц

№ п/п	Наименование отходов	План объемов образования отходов, т.	Норматив удельного образования отходов, т/1 т прод.
1	Отработанный расплав титановых хлораторов	395,15	0,128
2	Возгоны пылевых камер	93,24	0,030
3	Отработанный расплав ванадиевых хлораторов	72,30	0,300
4	Шлам ПКС	350,77	0,112

Образующаяся в процессе хлорирования парогазовая смесь направляется на отделение и конденсацию четыреххлористого титана. На АО «УК ТМК» используется комбинация аппаратов, включающая последовательно расположенные пылевую камеру и пылеосадительную камеру с солевой ванной (ПКС).

ПКС представляет собой совмещенный аппарат пылевой камеры и солевого оросительного скруббера. Назначение ПКС – очистка парогазовой смеси от высококипящих хлоридов, оксидов металлов и пыли, уносимой из хлоратора. Для более глубокой очистки ПКС используется орошение в царгах ПКС пульпой тетрахлорида титана. Шлам из ПКС сливается по мере накопления через нижний слив и вывозится в отвал [4].

В последнее время в мире наблюдается рост востребованности редкоземельных элементов (РЗЭ), применяемых во многих высокотехнологичных отраслях промышленности. В связи с истощением минеральных сырьевых источников редких металлов переработка техногенных отходов является актуальной и перспективной.

С хлоридными отходами теряются ценные компоненты: титан, ниобий, тантал, ванадий, цирконий, хром, железо, алюминий и др. [5].

Изучение распределения РЗЭ по хлоридным отходам АО «УК ТМК» показал, что шлам ПКС является потенциальным сырьевым источником для их извлечения. Так, содержание РЗЭ в шламе ПКС составило: ниобия 0,5-1 %; тантала 0,1-0,25 %; циркония 10-13 %; ванадия до 0,2 %; скандия до 0,5 %.

Проведены исследования по переработке шлама пылеосадительной камеры с солевой ванной. Состав шлама ПКС приведен в табл. 2.

Таблица 2

Состав шлама ПКС, %

AlCl <sub>3</sub>	MgCl <sub>2</sub>	KCl	NaCl	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeCl <sub>2</sub>	FeCl <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
40,0	3,6	18,2	8,0	0,02	0,05	0,005	0,005	6,5	13,5	7,2

Предлагаемый способ включает:

- 1) выщелачивание водой при соотношении Т:Ж = 1:3, температуре 90 °С;
- 2) восстановление ионов железа для последующего отделения в раствор;
- 3) выщелачивание с осаждением смеси гидроксидов. При этом титан и РЗЭ полностью осаждаются, а железо остается в растворе. Извлечение железа в раствор при определенных параметрах достигает до 80-85 %;
- 4) репульпация осадка для перевода алюминия в раствор при соотношении Т:Ж = 10. Извлечение алюминия составляет 95 %;
- 5) растворение осадка с получением хлоридного раствора с последующей очисткой на фильтре;
- 6) осаждение оксалатов титана и РЗЭ. Извлечение для титана – 98 %, для ниобия – 95 %, циркония – 96 %;
- 7) Сушка при 100 °С с получением коллективного концентрата РЗЭ.

Для каждого этапа технологической схемы установлены оптимальные параметры. Так, для очистки от железа необходимо провести восстановление железной стружкой по реакции (1).



Для восстановления применялся железный порошок с содержанием железа – 99,99 %. Также для полного растворения железа необходимо уменьшить pH пульпы до 1,45.

Опытным путем установлена зависимость степени осаждения железа и алюминия от pH пульпы для раздельной очистки пульпы от железа и алюминия. Оптимальное значение pH, при котором удастся разделить железо и алюминий, установлено равным 4-5. График зависимости степени осаждения железа и алюминия от pH пульпы представлен на рис. 3.

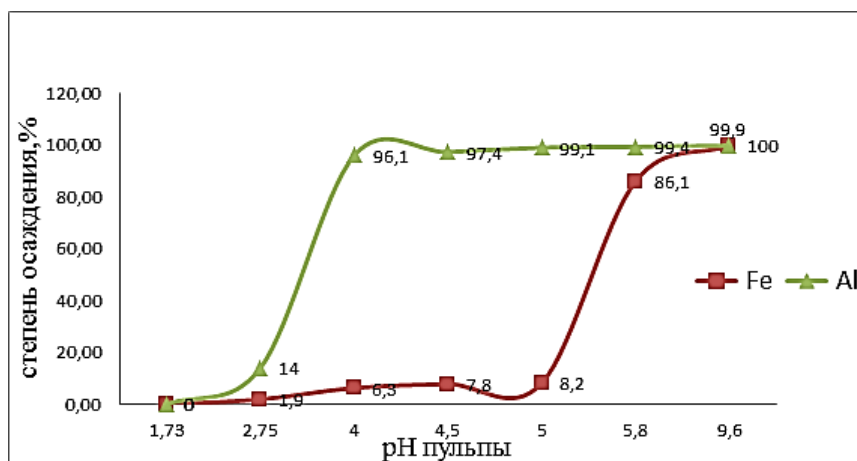


Рисунок 3 – График зависимости степени осаждения железа и алюминия от pH пульпы

Опытным путем подобраны концентрации щелочи при репульпации и соотношение Т:Ж. При их увеличении извлечение алюминия в раствор достигает 98 %, однако установлено, что при концентрации выше 120 г/л и Т:Ж = 30 происходят потери РЗЭ, в частности ниобия.

На рис. 4 представлена принципиальная технологическая схема переработки шлама ПКС.

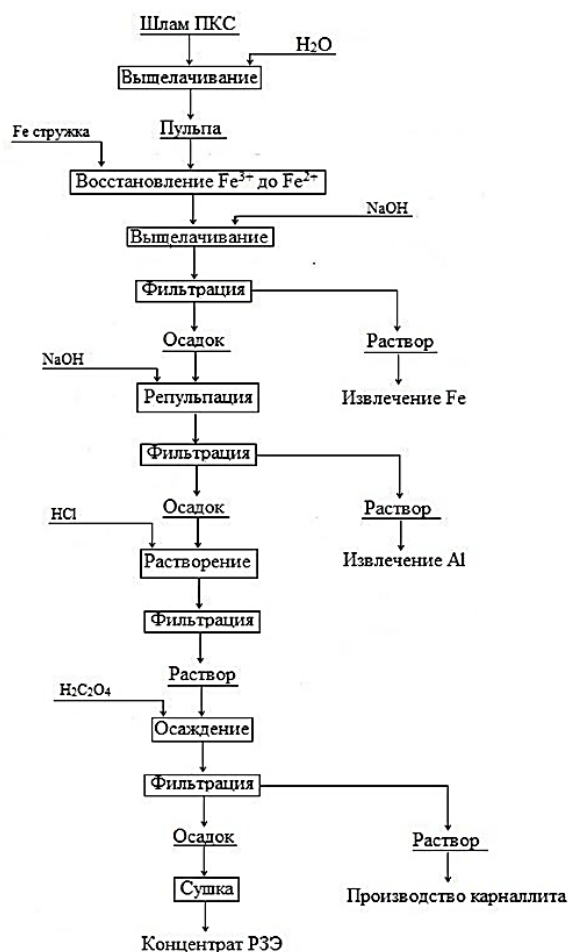


Рисунок 4 – Принципиальная технологическая схема переработки шлама ПКС

Определены оптимальные параметры при выщелачивании водой: соотношение Т:Ж = 1:5, температура 90 °С; время выщелачивания – 2 ч.

Извлечение железа в раствор составило 70-75 %; извлечение алюминия в раствор после репульпации составило 90-95 %; извлечение для титана – 90-94 %, для ниобия – 92-97 %, для циркония – 90-95 %.

Разработанный способ позволяет получить концентрат РЗЭ с извлечением редкоземельных элементов из шлама ПКС до 95 %. Также растворы, полученные по этой схеме, идут на извлечение железа, алюминия и производство карналлита. Ориентировочный годовой экономический эффект технологии составляет до 500 тыс. долл. США.

#### Список литературы

1. Qiongsa Liu, Phil Baker, Hanyue Zhao. Titanium sponge production technology in China // Proceedings of the 13th World Conference on Titanium. – San Diego, California, USA. – 2015. – August. – P. 177-182.



2. [Электрон. ресурс] URL: <https://inbusiness.kz/ru/>
3. Теплоухов А.С. Предотвращение загрязнения водных объектов отходами титано-магниевого производства: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – 2005. – 143 с.
4. Байбеков М. К., Попов В. Д., Чепрасов И. М. Производство четыреххлористого титана. – М., «Металлургия», 1980. – 120 с.
5. Новое в теории и практике металлургии цветных и редких металлов // ИМиО АН КазССР. – Алма-Ата, 1988. – 230 с.

Получено 10.04.2020

---

МРНТИ 38.49.15

**Г.В. Тарасенко**

КГУТИ им. Ш. Есенова, г. Мангистау, Казахстан

#### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ АККУЛКОВСКОГО ВАЛА И ПЕРСПЕКТИВЫ ГАЗОНОСНОСТИ РАЙОНА

*Проведенный анализ геолого-геофизического материала по Аккулковскому валу подтверждает газоносность изучаемых месторождений. Проведен литолого-стратиграфический анализ месторождений и привязка к сейсмическим отражающим горизонтам. Построены структурные карты и рекомендованы пути повышения поисково-разведочных работ.*

*Аккулков білігі бойынша геологиялық-геофизикалық материалға жүргізілген талдау зертте-летін кен орындарының газдылығын растайды. Кен орындарына литологиялық-стратиграфиялық талдау және сейсмикалық шағылыстырғыш деңгейлерге байланыстыру жүргізілді. Құрылымдық карталар салынды және іздеу-барлау жұмыстарын арттыру жолдары ұсынылды.*

*The analysis of geological and geophysical material for the Akkulkov shaft confirms the gas content of the studied deposits. Conducted lithologic and stratigraphic analysis of deposits and binding to seismic reflecting horizons. Structural maps were built and ways to increase exploration were recommended.*

**Ключевые слова:** Аккулковский вал, отражающие горизонты, карта, блоки фундамента, структура, площадь, скважина.

Аккулковский вал расположен в южной части обширного Челкарского прогиба, являющегося составной частью Туранской эпигерцинской платформы [1-4].

Челкарский прогиб в южной части с поверхности выполнен отложениями олигоцена и неогена, находящихся под небольшим покровом четвертичных отложений. В глубинном строении прогиба участвуют терригенные отложения меловых, юрских, триасовых систем, а также верхний отдел пермской системы, перекрывающие породы фундамента предположительно среднепалеозойского возраста. Толщина осадочного комплекса отложений превышает 3000 м [5-9].

*Отложения палеозойского фундамента (PZ2)* представлены углисто-серицитовыми сланцами, которые сильно перемяты, часто брекчированы и пронизаны трещинами, выполненными кварцем и в меньшей степени кальцитом. Видимые углы падения пород 45-60°. Палеонтологически эти отложения не охарактеризованы, так как органические остатки в них отсутствуют. В обнаженных частях Мугоджар, Кзылкумов и Султануиздага сходные по петрографическому составу породы встречаются в стратиграфическом диапазоне силур – нижний карбон. Поэтому Муравьев В.И., Гарецкий и др. датируют их среднепалеозойским возрастом [10-11].

Нерасчлененные на отделы *триасовые отложения (Т)* литологически представлены песчаниками от мелкозернистой до крупнозернистых разностей и разномасштабными алевролитами. В породе отмечаются редкие включения битума (1-2 %). Среди *юрских отложений (J)* выделяются континентальные осадки нижней, средней юры и морские – верхней.

*Меловая система (К)* представлена двумя отделами: нижним – в основном континентальными образованиями, и верхним – в основном морскими осадками.

Отложения *палеогеновой системы (Р)* в пределах изучаемой территории пользуются повсеместным распространением и вскрыты всеми пробуренными скважинами. Залегают они со страти-

графическим несогласием на отложениях маастрихтского яруса верхнего мела. Отложения палеогена представлены тремя отделами: палеоценовым, эоценовым и олигоценовым.

Для избежание повторений при литологической характеристике стратиграфических подразделений палеогеновых отложений, сложенных набором пород единого литолого-фациального комплекса, дано общее описание типов пород по материалам В.И. Муравьева, А.Е. Шлезингера.

Отложения *неогеновой системы (N)* несогласно перекрывают отложения олигоценевого отдела палеогена и представлены на изучаемой площади нижним отделом (миоценом).

Четвертичные осадки ( $Q$ ) представлены главным образом континентальными образованиями различных генетических типов: золовыми, аллювиальными, пролювиальными – делювиальными, соровыми и такыровыми. Сложены они песками, суглинками и супесями. Толщина антропогенных отложений изменяется от 3 до 13 м.

В тектоническом отношении рассматриваемая территория расположена в зоне сочленения Шалкарского и Косбулакского прогибов Северо-Устьюртского осадочного (рис. 1). При этом наиболее погруженным блоком Северного Устьюрта является Косбулакский блок, где поверхность фундамента залегает на абсолютных отметках минус 11-12 км. Наиболее приподнятый – Шалкарский блок с абсолютными отметками фундамента минус 3-6 км [11].

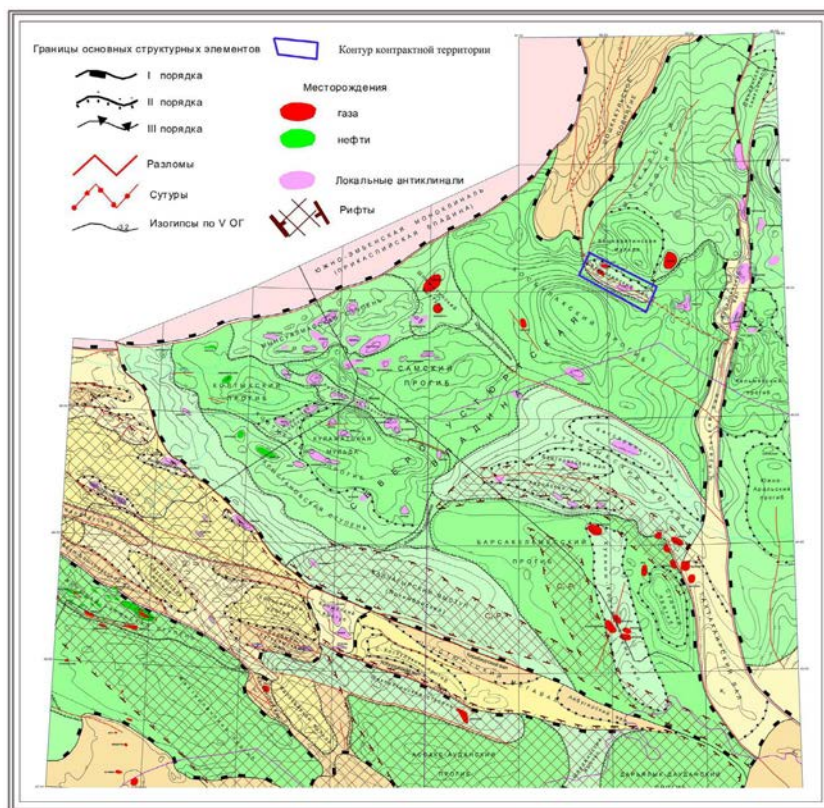


Рисунок 1 – Схема основных тектонических элементов района

Главным тектоническим нарушением, разделяющим эти прогибы, является глубинное Аккулковское тектоническое нарушение северо-западного простираия. Амплитуда Аккулковского вала по отражающему горизонту (ОГ-V) превышает 500 м. Аккулковский вал по мезозойским и кайнозойским комплексам отложений в пределах исследуемой территории осложнен тремя локальными поднятиями: Аккулковское, Кызылоское, Северо-Кызылоское.

Квазиplatformенные палеозойские отложения в пределах Северного Устья распространены не повсеместно. Эти отложения полностью отсутствуют на Шалкарском и Аккулковском блоках

фундамента. Это подтверждается пробуренными скважинами Аккулковская Г-2, Г-5, Кызылойская Г-1, Базойская Г-11, Г-16, Жумагуль Г-6 и Сорбулак Г-1.

Фундамент Аккулковской площади имеет двурусное строение – кристаллический и складчатый. Складчатый фундамент вскрыт скважинами Г-2 и Г-5. На волновом поле временных сейсмических разрезов характеризуется наличием непротяженных отражений. По данным анализа кернового материала возраст складчатого яруса фундамента определяется как среднепалеозойский.

Кристаллический фундамент бурением не вскрыт. На волновом поле сейсмических и временных разрезов характеризуется отсутствием отражающих горизонтов. Поверхность толщи, где отражения отсутствуют, принята как отражающего горизонта по фундаменту (ОГ-Ф).

К вершинам выступов метаморфизованные отложения складчатого яруса фундамента и квази-платформенные отложения верхнего палеозоя полностью выклиниваются и присутствуют только в пределах прогибов кристаллического фундамента (рис. 2).

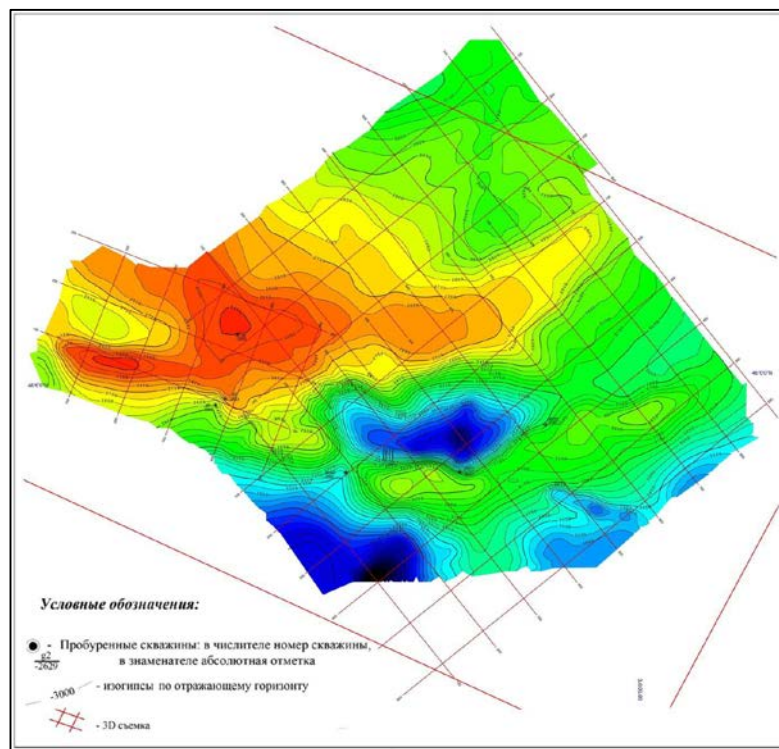


Рисунок 2 – Структурная карта складчатого фундамента

Вершина этого поднятия приурочена к району пробуренной скважины Г-5, где она вскрыта на абсолютной отметке минус 2453 м. Поднятие оконтуривается изогипсой минус 2700 м, амплитуда 250 м, размеры 23х8 км, простирание широтное. В западной части поднятие разветвляется на широтное и северо-западное отроги. Кроме того, к юго-западу наблюдается еще одна гряда, состоящая из трех самостоятельных поднятий – восточного, центрального и северо-западного, разделенных от наиболее приподнятого положения фундамента системой мульдообразных прогнутых зон субширотного простирания. Западная из них прогнута до абсолютной отметки минус 4100 м, восточная до минус 3250 м [13].

Восточное поднятие по замыкающей изогипсе минус 3050 м имеет размеры 9х2 км, при амплитуде – 100 м, центральное – 5,8 х 1,7 м с амплитудой – 100 м и северо-западное – 1х1км с амплитудой менее 50 м. К северу и югу от этих приподнятых зон наблюдается моноклиналиное погружение поверхности фундамента до абсолютных отметок на севере до минус 3200 м, на юге до минус 4000 м.

Структурная карта по отражающему горизонту (ОГ-V) рассматриваемого месторождения по данным проведенных сейсмических работ 2D и 3D и пробуренных скважин показывает, что доюрские отложения имеют распространение только на южном склоне фундамента, на севере экранируются склоном фундамента и на большей части территории размыты (рис. 3). Положительные структурные формы наблюдаются вдоль сброса F3. Так, в северо-западной части вырисовывается периклинальная часть одной структуры примыкания к северу от сброса F3 и две структуры примыкания к юго-западу от сброса F3 с замыкающими изогипсами минус 2650 м. Размеры структуры №1 – 6,5х3,7 км с амплитудой 100 м, №2 – 2,1х1,2 км с амплитудой 75 м, №3 – 2,5х0,5 км с амплитудой 25 м.

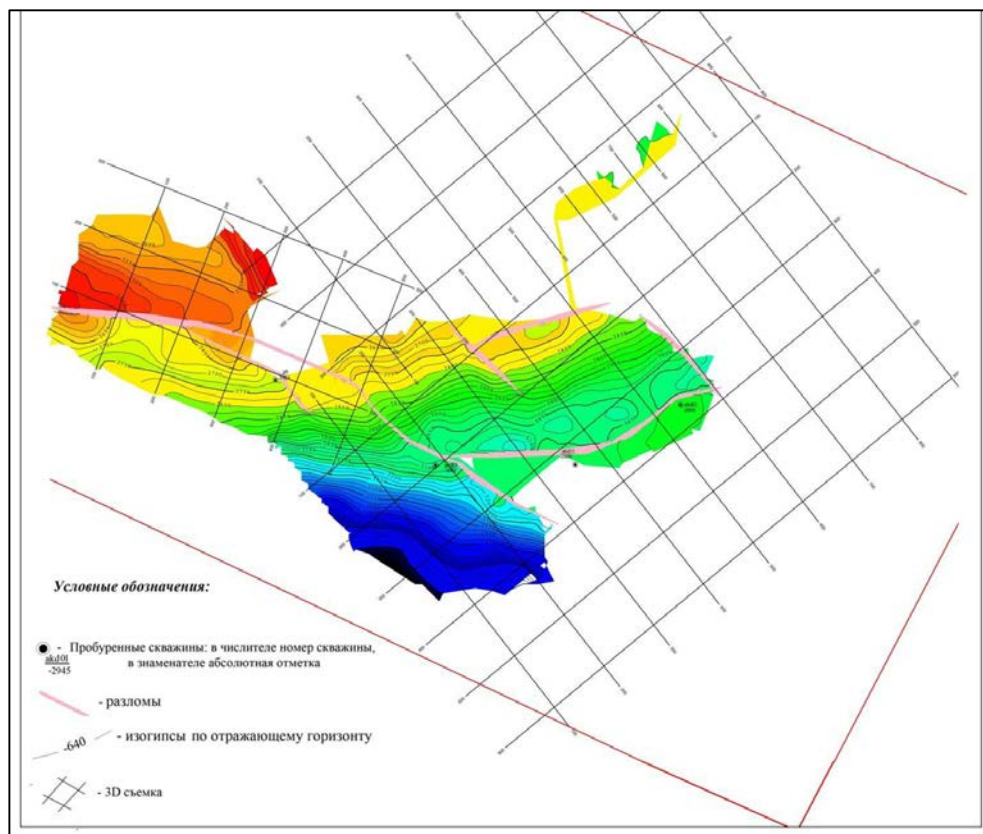


Рисунок 3 – Структурная карта по ОГ-V

Аккулковское локальное поднятие по отражающему горизонту III (ОГ-III) в подошве меловых отложений представляет собой брахиантиклинальную структуру северо-западного простирания, вдоль Аккулковского глубинного разлома.

На структурной карте по ОГ-III на рассматриваемой территории в целом выделяется центральная приподнятая зона, ориентированная с северо-востока на юго-запад и северо-запад. При этом выделяется собственно Аккулковское поднятие брахиантиклинального типа с размерами по замыкающей изогипсе минус 2210 м 21х10 км.

Данное поднятие осложнено шестью куполками: юго-западным, центральным-1, центральным-2, восточным, юго-восточным и южным. Абсолютные отметки залегания вершин этих куполков соответственно отмечаются на – 1190 м, – 2050 м, – 2070 м, – 2000 м, – 2150 м, – 2170 м. На север, юго-восток, юг и северо-запад поверхность до меловых отложений погружается до абсолютных отметок минус 3000 м. Структура осложнена 5-ю дизъюнктивными нарушениями сбросового типа (F7, F8, F3, F4 и F6). Все они имеют северо-западное простирание.



Вдоль нарушения F3 и F4 наблюдаются три структуры примыкания небольших размеров с абсолютными отметками сводов – 1930 м, – 1930 м и – 2220 м. Между сбросами F4 и F6 в районе пробуренной скважины Г-2 имеется мульдовидное прогибание, погружающееся до абсолютных отметок – 2400 м.

Горизонт ОГ-III вскрыт двенадцатью пробуренными скважинами (АКД-01-07, 09, 11 и Г-2, Г-5, Г-6), которые использованы для стратификации и увязки отражающих горизонтов (рис. 4).

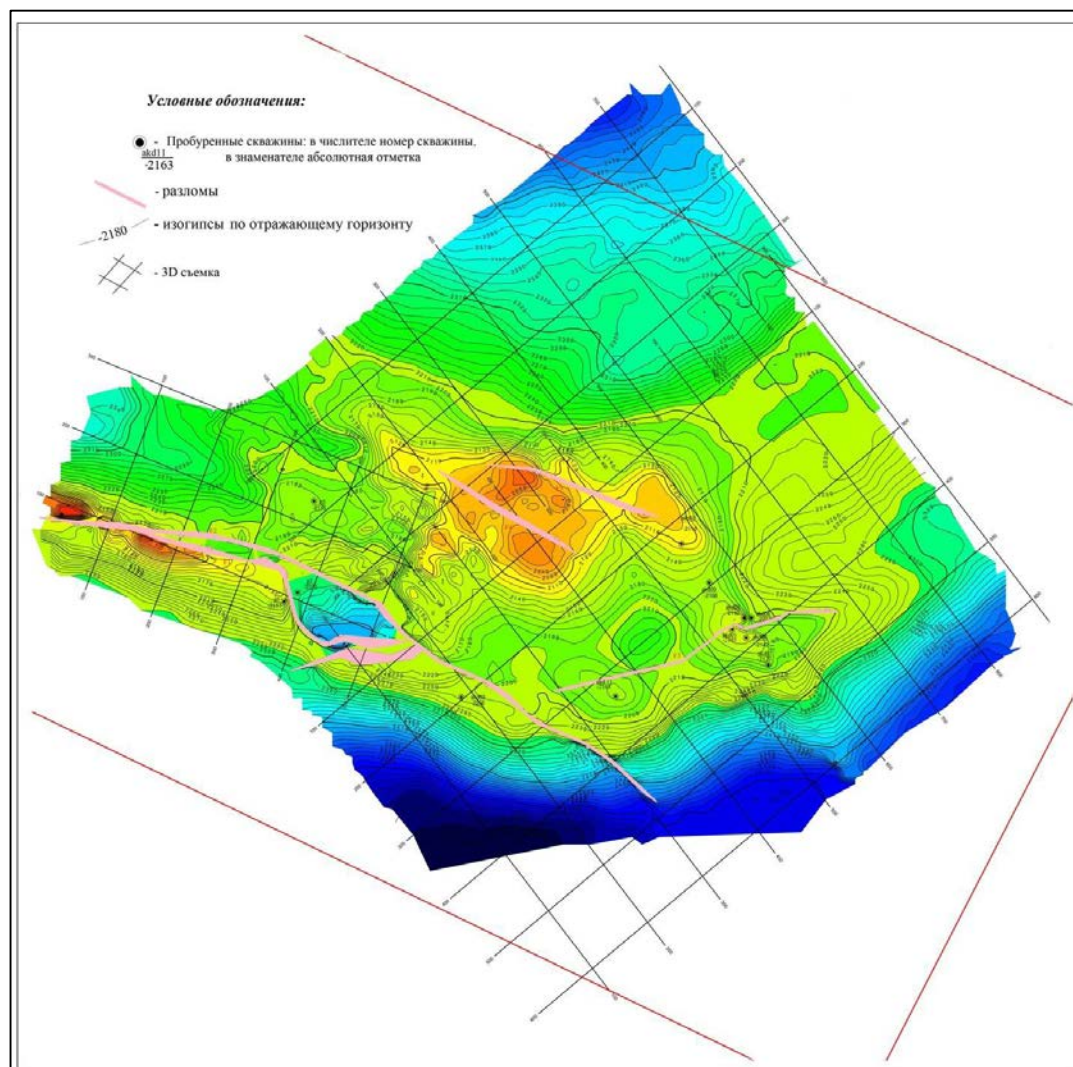


Рисунок 4 – Структурная карта по ОГ-III

На структурной карте отражающий горизонт II (ОГ-II), приуроченной к подошве турон-коньякских отложений верхнего мела, наблюдается смещение свода собственно Аккулковского поднятия в северо-восточном направлении и появляются ряд малоамплитудных сбросовых нарушений. В целом характер строения по сравнению с ОГ-III в общем соблюдается.

Гряда поднятий имевший место, а южной части полностью выполаживается и превращается в моноклинальное залегание.

В западной части выделяются несколько малоамплитудных поднятий, рисующихся в виде структур примыкания (рис. 5).

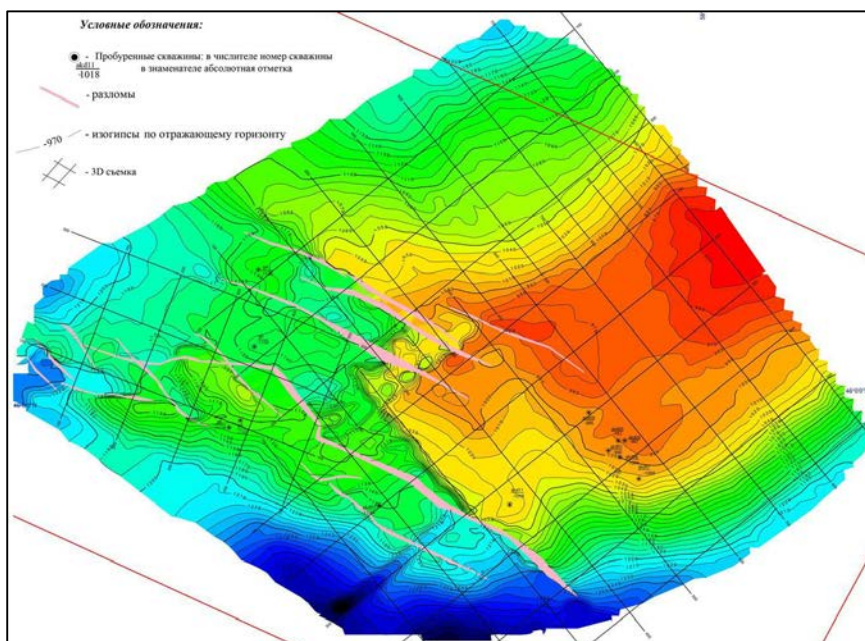


Рисунок 5 – Структурная карта по ОГ-II

По материалам 2014 г. по отражающему горизонту I (ОГ-I), стратифицируемому как подошва палеогеновых отложений, структура Аккулковская рисуется в виде брахиантиклинального поднятия, простирающегося в северо-восточном направлении. Восточная переклиная часть структуры выходит за пределы площади сейсмической съемки 3D. В закартированной части по замыкающей изогипсе минус 650 м размеры составляют 16 x 14,5 км, амплитуда поднятия 100 м (рис. 6).

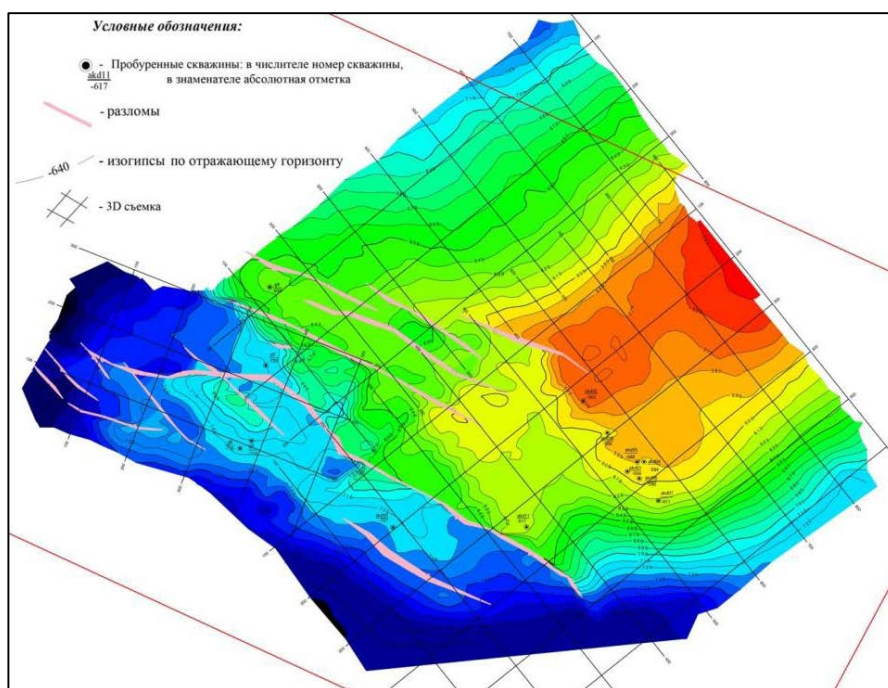


Рисунок 6 – Структурная карта по ОГ-I



Северо-западный и юго-восточный склоны моноклинально погружаются до абсолютных отметок минус 720-740 м. Юго-западный склон имеет более сложное строение, осложнено многочисленными нарушениями сбросового типа, образуя ступени, поля, и погружается до абсолютных отметок минус 800-810 м.

Между пробуренными скважинами Г-5 и Г-2, Г-6 наблюдается малоамплитудное поднятие амплитудой до 30 м с размерами по замыкающей изогипсе минус 710 м около 5,5х2,0 км и простирающееся в северо-западном направлении. Все нарушения также простираются в северо-западном направлении и малоамплитудные от нескольких до 30 метров. Отражающий горизонт вскрыт пробуренными скважинами Г-2, Г-4, Г-5, Г-6, АКД-01, АКД-02, АКД-03, АКД-04, АКД-05, АКД-06, АКД-07, АКД-09, АКД-11 (рис. 3.2.6).

Проведенные сейсморазведочные работы 2D и 3D вкупе с результатами пробуренных скважин позволили построить структурные поверхности по Тасаранскому и Кызылойскому продуктивным горизонтам [13].

#### Список литературы

1. Аверьянова С.Г., Яковлева Л.Г. Отчет о сейсморазведочных исследованиях МОГТ в центральной части Северного Устьюрта на площадях Арыстановская, Уали, Теренская, Хакимовская, Узынтобе: Отчет с/п 36/82-85; 6/84-86, ГГФЭ. – 1986.
2. Акчулаков У., Жолтаев Г.Ж., Жылкайдаров С.Е. и др. Оценка прогнозных ресурсов углеводородного сырья Республики Казахстан. Книга 1. – Алматы, 2003.
3. Аристархов И.И. Отчет о поисковых сейсморазведочных работах МОГТ севернее площади Кушата Северо-Устьюртской впадины в 1991-94 гг.: Отчет Кушатиной с/п 03/91-94. – АО «Толкын», 1994.
4. Баранова Т.Э., Белов Е.В. Характеристика рассеянного органического вещества мезозойских отложений Устьюрта // Геология и нефтегазоносность Устьюрта. – 1973. – С. 51-61.
5. Бижанов Б. Результаты геолого-геофизических исследований по Северному Устьюрту с целью выяснения перспективных направлений поисков нефти и газа и подготовки объектов под глубокое бурение в пределах южного борта Северо-Устьюртской впадины за 1988-90 гг.: Отчет партии 6/88-90, МГФЭ. – 1991.
6. Булукбаев З.Е., Гарецкий Р.Г. и др. Геологическое строение и газонефтеносность северного Приаралья и Северного Устьюрта. – М.: Наука, 1970.
7. Быкадоров В.А., Федоренко О.А. Отчет «Геологическое изучение зоны сочленения Урала, Северо-Устьюртской и Прикаспийской впадин» / ТОО «ЮГ Гео» по контракту с INOK. – Алматы, 1998.
8. Быкадоров В.А., Федоренко О.А., Науразбаев Е.Т. Отчет «Составление структурных карт Казахстана (исключая Прикаспийскую впадину) в масштабе 500 000 с целью создания современной основы для прогнозной оценки осадочных бассейнов на углеводороды и другое минеральное сырье» за 1995-2001 г. – ТОО «ЮГГЕО», 2002.
9. Даукеев С.Ж., Воцалевский Э.С. Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана: нефть и газ. – Том III. – Алматы, 2002.
10. Игнатюк О.В., Черных Л.В., Григорьев В.Н. и др. Составление и подготовка к изданию карты аномального магнитного поля территории Республики Казахстан масштаба 1:1 000 000. II этап: Отчет по теме 1-06 за 2001 – 2003 гг. / ТОО «КазИМС». – Алматы, 2003.
11. Леонов Ю.Г., Волож Ю.А. и др. Консолидированная юра Каспийского региона: опыт районирования: Труды Геологического института. – Вып. 593. – Москва: Геос, 2010.
12. Месторождения нефти и газа Казахстана: Справочник. – Алматы, 2005.
13. Юриков О.Н., Шапиев Р.З., Дэрия Гоулд и др. Отчет о результатах сейсморазведочных работ на площади Аккулковская в период 2010-2011 гг. – Алматы, 2012.

Получено 10.04.2020

МРНТИ 53.37

**А.А. Тымбаева<sup>1</sup>, Н.А. Куленова<sup>1</sup>, С.В. Мамяченков<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск, Казахстан<sup>2</sup>Уральский федеральный университет им. первого президента России Б.Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург, Россия**ВОПРОС НАКОПЛЕНИЯ СУЛЬФАТА НАТРИЯ ПРИ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ  
МЫШЬЯКОВЫХ ПРОМПРОДУКТОВ**

*Данная работа посвящена проблеме накопления растворов сульфата натрия при гидрометаллургической переработке мышьяковых промпродуктов на металлургических производствах. Произведен обзор способов осаждения и конверсии сульфата натрия с целью его вывода из замкнутых систем водооборота металлургических предприятий.*

*Бұл жұмыс металлургиялық өндірісте мышьяқ өнеркәсіп өнімдерін гидрометаллургиялық өңдеу кезінде натрий сульфаты ерітінділерінің жиналу мәселесіне арналған. Металлургия кәсіпорындарының су айналымының тұйық жүйелерінен шығару мақсатында натрий сульфатын тұндыру және конверсиялау тәсілдеріне шолу жүргізілді.*

*This work is devoted to the problem of the accumulation of sodium sulfate solutions in the hydrometallurgical processing of arsenic intermediate products in metallurgical industries. A review is made of the methods of deposition and conversion of sodium sulfate with the aim of its removal from closed water circulation systems of metallurgical enterprises.*

**Ключевые слова:** мышьяковые промпродукты, накопление сульфата натрия, конверсия сульфата натрия, регенерация гидроксида натрия.

Выщелачивание мышьяксодержащих материалов в зависимости от перерабатываемого материала и целей переработки ведут как в щелочной, так и в кислой и нейтральной средах.

Большинство щелочных растворителей не обладают селективностью. В раствор наряду с мышьяком частично или полностью переходят тяжёлые цветные металлы, что затрудняет их дальнейшее извлечение. При выщелачивании в растворе гидроксида натрия эта проблема решается добавлением элементной серы. Получаемый при этом полисульфидный раствор натрия обладает селективностью к мышьяку и сурьме.

Так, согласно источнику [1] при выщелачивании возгонов крепкими горячими растворами гидроксида натрия (100-250 г/дм<sup>3</sup>) в раствор наряду с мышьяком переходят также свинец и цинк. Для связывания этих металлов в нерастворимые сульфиды предложено добавлять к щелочному раствору до 10-20 г/дм<sup>3</sup> сернистого натрия. При концентрации едкого натра 100 г/дм<sup>3</sup>, сульфида натрия 12,5 г/дм<sup>3</sup>, температуре 80 °С, Т:Ж = 10 за 1 час в раствор перешло 88 % мышьяка, 1,8 % олова и 4,6 % свинца.

При выщелачивании конвертерных пылей свинцового производства растворами сернистого натрия (80-100 г/дм<sup>3</sup>, 90-95 °С, Ж:Т=6:1, t=1ч) извлечение мышьяка в раствор составляет 88-93 %, а в случае трёхстадийного выщелачивания – 99 %. Тяжелые металлы остаются в кеке. При концентрации сульфида натрия более 90 г/дм<sup>3</sup> заметно ухудшается фильтруемость пульпы [1].

Известен способ [2, 3, 4] переработки шпейзы свинцового завода серощелочным выщелачиванием. Шпейзу, содержащую 12,2 % As, 43,5 % Cu, 14,8 % Pb выщелачивают при 105 °С, 25 % содержания твёрдого, NaOH:S = 1:4 в течение 6 часов. При данных условиях около 99 % мышьяка и 99 % сурьмы переходит в раствор. Также частично выщелачивается 9 % золота.

Таким образом, мышьяк из таких мышьяксодержащих промпродуктов цветной металлургии, как технологические пыли, возгоны, штейн, шпейза, может быть выведен в мышьяксодержащий раствор серощелочным выщелачиванием.

В связи с отсутствием спроса на рынке потребления мышьяка и большими затратами, связанными с захоронением отвального продукта, при выборе оптимального способа осаждения мышьяка из серощелочных растворов являются: токсичность, содержание мышьяка, вымываемость, компактность [5, 6, 7].

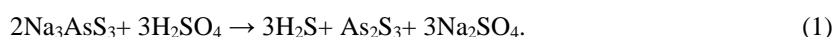
Класс токсичности для мышьяксодержащих отходов определяется независимыми лабораториями на основе экологического кодекса Республики Казахстан для каждого типа материала отдельно с выдачей протокола соответствующего образца. Однако на основе литературного обзора условно мышьяксодержащие отходы можно подразделить по четырем существующим классам (табл. 1).

Таблица 1

*Упрощенная классификация мышьяксодержащих отходов на основе литературного обзора [1, 8, 9]*

Класс токсичности отхода			
I класс	II класс	III класс	IV класс
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	FeAsO <sub>4</sub> As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> Cu <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Fe <sub>x</sub> As <sub>y</sub>

В условиях переработки мышьяксодержащих промпродуктов на металлургических производствах с сопутствующим производством серной кислоты наиболее недорогим способом является осаждение мышьяка в сульфидный кек серной кислотой. Осаждение мышьяка в сульфидный кек происходит согласно уравнению реакции:



Недостатками процесса осаждения мышьяка из серощелочного раствора в сульфидный кек серной кислотой являются:

- образование сероводорода при осаждении мышьяка серной кислотой, в связи с чем в случае внедрения технологии в промышленном масштабе потребуется полностью герметичная система газоотвода: ПДК сероводорода в воздухе рабочей зоны 10 мг/м<sup>3</sup> [10].

- получение раствора сульфата натрия, образование и накопление которого в условиях металлургических предприятий, работающих в замкнутой системе водооборота, нежелательно. В связи с этим необходимо провести обзор возможности осаждения или конверсии сульфата натрия с целью вывода его из системы.

Обзор литературных источников позволил выявить, что проблема с накоплением раствора сульфата натрия свойственна и алюминиевой промышленности, где сульфат натрия аккумулируется в растворах газоочистки.

Следует отметить, что проблема с накоплением сульфата натрия на металлургических производствах цветных металлов с каждым годом становится все более актуальной. Так, например, земля вокруг алюминиевых заводов занята многочисленными свалками отходов и шламохранилищами, которые во многих случаях являются растворохранилищами и представляют не только экологическую, но и аварийную опасность. Строительство новых шламохранилищ сталкивается с проблемой отсутствия свободных площадей. Экологическая эффективность вывода сульфата натрия в виде готового продукта очевидна вследствие снижения потребности в новых шламохранилищах, обеспечения возможности переработки накопленных шламов, улучшения работы газоочистных сооружений, повышения экологической безопасности в районе расположения алюминиевых заводов [11].

Известно множество способов очистки растворов от сульфата натрия, наиболее распространенными являются следующие: высаливание, осаждение в виде труднорастворимых соединений, ионный обмен, кристаллизация при выпаривании и охлаждении, конверсия в гидроксид натрия [12-19].

Очистка растворов от сульфата натрия может быть произведена за счёт снижения его растворимости в присутствии определенных реагентов. Однако в этом случае помимо сульфата натрия в осадок выпадают практически все солевые компоненты системы. В связи с этим вывод сульфата натрия высаливанием не нашел широкого применения в промышленности.

Одним из наиболее простых в осуществлении способов является осаждение сульфат-ионов в виде труднорастворимых солей бария и кальция с сопутствующей регенерацией гидроксида натрия [2].

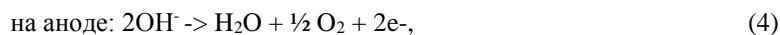
Процесс основан на следующих уравнениях реакции:



Осаждение гипса применяют для частичного вывода сульфатов при их высоком содержании. Растворимость его значительно зависит от температуры и pH среды. Хороший результат может быть получен при осаждении из нагретых нейтральных или слабокислых растворов [11]. Осаждение сульфата натрия из растворов гидроксидом бария экономически нерентабельно.

Наиболее распространенным методом получения сульфата натрия из озерных рап и промышленных растворов является выделение его при низких температурах (0-10°C) в виде мирабилита (другое название - глауберова соль) с использованием природного или искусственного холода [11]. Метод основан на свойстве сульфата натрия понижать свою растворимость при охлаждении раствора.

Регенерация гидроксида натрия из растворов сульфата натрия возможна с помощью электролиза [20 – 24]. Конверсия раствора сульфата натрия методом электролиза происходит за счёт протекания следующих реакций на электроде:



При биполярном мембранном электролизе под воздействием электрического тока катионы  $\text{Na}^+$  и анионы  $\text{SO}_4^{2-}$  перемещаются по монополярным ионообменным мембранам и реагируют с ионами  $\text{OH}^-$  и  $\text{H}^+$  с образованием соответственно гидроксида натрия и серной кислоты.

Таким образом, аналитический обзор способов очистки растворов от сульфата натрия показал существование множества способов вывода соли из замкнутого цикла водооборота металлургических производств. Наиболее применимыми для процесса переработки мышьяксодержащих промпродуктов серощелочным выщелачиванием являются электролиз и способ осаждения сульфат-ионов в форму труднорастворимых солей, так как два этих метода обеспечивают также и регенерацию основного реагента - гидроксида натрия на стадии серощелочного выщелачивания, тем самым оказывая благоприятное влияние на экономику процесса.

#### Список литературы

1. Набойченко С.С., Мамяченков С.В., Карелов С.В. Мышьяк в цветной металлургии // Под. ред. С.С. Набойченко. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004 г.
2. C.G. Anderson, L.G. Twidwell. The alkaline sulfide hydrometallurgical separation, recovery and fixation of tin, arsenic, antimony, mercury and gold // The Southern African Institute of Mining and Metallurgy: Lead and Zinc. – 2008.
3. C.G. Anderson. Alkaline sulfide leaching technology: just the facts // Hydrometallurgy. – 2014. – volume I.
4. C.G. Anderson. The treatment of arsenic bearing ores, concentrates and materials with alkaline sulfide hydrometallurgy // Arsenic Metallurgy Edited by R.G. Reddy and V. Ramachandran TMS (The Minerals, Metals & Materials Society). – 2005.
5. Kushneet Kaur Sodhi, Mohit Kumar, Pawan Kumar Agrawal, Dileep Kumar Singh. Perspectives on arsenic toxicity, carcinogenicity and its systemic remediation strategies // Environmental Technology & Innovation. – Volume 16. – November 2019, 100462.
6. Yuancheng Li, Xiaobo Min, Yong Ke, Jiangchi Fei, Degang Liu, Chongjian Tang. Immobilization potential and immobilization mechanism of arsenic in cemented paste backfill // Minerals Engineering. – 2019. – Volume 138. – Pages 101-107.
7. Arvind Kumar Shakya, Pranab Kumar Ghosh. Stability against arsenic leaching from biogenic arsenosulphides generated under reduced environment. Journal of Cleaner Production. – 2019. – Volume 208. – Pages 1557-1562.

8. Hui Xu, Xiaobo Min, Yunyan Wang, Yong Ke, Liwei Yao, Degang Liu, Liyuan Chai. Stabilization of arsenic sulfide sludge by hydrothermal treatment // *Hydrometallurgy*. – Volume 191. – January 2020, 105229.
9. Набиева А.А., Куленова Н.А. Анализ состояния проблемы переработки мышьяк содержащего сырья цветной промышленности: Материалы V международной научно-технической конференции студентов, магистрантов и молодых ученых «Творчество молодых инновационному развитию Казахстана» посвященный году молодежи в Казахстане. 11-12 апреля 2019. – г. Усть-Каменогорск. – С. 75-79
10. Simonton S., Spears M. (2007). Human Health Effects from Exposure to Low-Level Concentrations of Hydrogen Sulfide. *Occupational Health & Safety*
11. Ржежицкий Э.П., Кондратьев В.В., Шахрай С.Г. Сульфат натрия при производстве алюминия: проблемы и перспективы // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. – 2011.
12. Foote H.W., Schairer J.F., *Am. Chem. Soc.*, 52, 4202 (1930).
13. Чмутов К.В. Синтез и свойства ионообменных материалов. – М.: Наука, 1968. – 319 с.
14. Очистка сульфатсодержащих сточных вод / А.В.Чередников [и др.] // *ЖПХ*. – 1969. – №4. – С. 265-268.
15. А.с. 323354 (СССР). Способ выделения сульфата натрия из сточных вод / Сухотерин И.С. [и др.]. – Оpubл. в Б.И., 1972. – №1.
16. Фурман А.А., Шрайман С.С. Приготовление и очистка рассола. – М-Л.: Химия, 1966. – 232 с.
17. Перемыслова Е.С., Заикина Г.Д. Способность к обмену различных анионов на анионите АВ-17 // *ЖПХ*. – 1967. – № 9. – С. 1994-1998.
18. Когановский А.М. Адсорбция растворимых веществ. – Киев: Наукова думка, 1977. – 223 с.
19. Кокотов Ю.А. Иониты и ионный обмен. – Л.: Химия, 1980. – 150 с.
20. Nowak, Mariusz & Jaroszek, Hanna & Turkowska, Magdalena. (2014). Conversion of waste sodium sulfate with bipolar membrane electrodialysis. *Membranes and Membrane Processes in Environmental Protection*, Edition: Monographs of the Environmental Engineering Committee Polish Academy of Sciences. – 2014. – Vol. 119. – P. 337-348.
21. Bożenna Pisarska, Hanna Jaroszek, Wojciech Mikołajczak, Mariusz Nowak, Barbara Cichy, Halina Stopa, Paweł Markowicz. Application of electro-electrodialysis for processing of sodium sulphate waste solutions containing organic compounds: Preliminary study // *Journal of Cleaner Production*. – Vol. 142. – Part 4. – 20 January 2017. – Pages 3741-3747
22. Mohammad Ali Masigol, Ahmad Moheb, Arjomand Mehrabani-Zeinabad. An experimental investigation into batch electrodialysis process for removal of sodium sulfate from magnesium stearate aqueous slurry. *Desalination*. – Vol. 300. – 15 August 2012. – Pages 12-18.
23. M.Paleologou, A.Thibault, P.-Y.Wong, R.Thompson, R.M.Berry. Enhancement of the current efficiency for sodium hydroxide production from sodium sulphate in a two-compartment bipolar membrane electrodialysis system // *Separation and Purification Technology*. – Vol. 11. – Issue 3. – 3 July 1997. – Pages 159-171.
24. Didier Raucq, Gerald Pourcelly, Claude Gavach. Production of sulphuric acid and caustic soda from sodium sulphate by electromembrane processes. Comparison between electro-electrodialysis and electrodialysis on bipolar membrane // *Desalination*. – Vol. 91. – Issue 2. – April 1993. – Pages 163-175.

Получено 10.04.2020



МРНТИ 29.19

**Р.Б. Абылкалыкова<sup>1</sup>, М.С. Жапарова<sup>1</sup>, К.Т. Иманжанова<sup>1</sup>, Б.Д. Нуркенова<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск<sup>2</sup>Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск**МЕХАНОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА  
ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ**

*В работе исследованы процессы структурообразования на границе раздела практически не-растворимых друг в друге компонентов железа и алюминия при условиях приложения динамической нагрузки. Обнаружено, что при взаимодействии твердофазных образцов стали и алюминия, подвергнутых совместной осадке, могут формироваться продукты механохимических реакций, имеющих структуру, отличную от структуры исходных компонентов. Анализ условий, необходимых для переключения химических связей является общим для микро-, мезо- и макромасштабных уровней.*

*Бұл жұмыста динамикалық жүктемені қолдану жағдайында бір-бірінде іс жүзінде ерімейтін темір мен алюминий компоненттерінің интерфейсында құрылымның қалыптасу процестері зерттелген. Бірлескен жауын-шашынға ұшырайтын болат пен алюминийдің қатты фазалық үлгілерінің өзара әрекеттесуі бастапқы компоненттердің құрылымынан өзгеше құрылымы бар механохимиялық реакциялардың өнімдерін құра алатындығы анықталды. Микро, мезо және макроцикл деңгейлеріне ортақ химиялық байланыстарды ауыстыру үшін қажетті жағдайларды талдауы қажет.*

*In this work, the processes of structure formation at the interface of the components of iron and aluminum that are practically insoluble in each other under the conditions of application of dynamic load are investigated. It was found that the interaction of solid-phase samples of steel and aluminum, subjected to joint precipitation, can form products of mechanochemical reactions that have a structure different from the structure of the initial components. An analysis of the conditions required for switching chemical bonds is common to micro, meso and macroscale levels.*

**Ключевые слова:** Структурообразование, динамические нагрузки, механохимическая реакция, волны пластической деформации, масштабные уровни.

Исследование физико-химических процессов, происходящих в зоне контакта «железо-алюминий» при интенсивных динамических нагрузках представляет существенный интерес. Сплавы железа с алюминием могут применяться в термически сильно нагруженных и подверженных окисляющим или корродирующим воздействиям деталях термических машин, заменит в специальные стали, а также суперсплавы на основе никеля.

В соответствии с диаграммой состояний «железо-алюминий» образование твердых растворов или промежуточных фаз при температурах до 450 °С невозможно [1]. В представленной работе обнаружены соединения железа с алюминием, полученные под действием динамических нагрузок при температурах, не превышающих 450 °С.

В работах Болдырева [2] формирование новых фаз объясняется в рамках представлений о взаимодействии в решетке кристаллов пластических волн, вызванных напряжениями. Это приводит к образованию возбужденных неравновесных состояний в кристаллах и дефектов, облегчающих разрушение кристалла по определенным направлениям.

Панин [3] вопрос о волнах пластической деформации рассматривает на разных масштабных уровнях. При многократном возвратно-поступательном движении фронта первичных поверхностных сдвигов вдоль оси нагружения образец испытывает поперечные автоколебания подобно струне скрипки. Подобный процесс автор классифицирует как движение бегущего импульса в



возбуждаемой среде. Рождающиеся при этом полосы локализованной деформации последовательно охватывают весь объем образца. Основной объем образца при циклическом нагружении испытывает только упругое нагружение, а его поверхностные слои – знакопеременную деформацию растяжение-сжатие в пластической области. Автор убедительно показывает, что любой сдвиг в нагруженном твердом теле, рассматриваемый как элементарный акт пластического течения, сопровождается поворотными модами деформации. Сдвиг на любом масштабном уровне может зарождаться только в локальной зоне концентратора напряжений.

Целью данной работы явилось исследование продуктов механохимических реакций в зоне контакта образцов алюминия и железа при различных условиях динамического нагружения.

В эксперименте брали пластину из стали 08X18H10 размерами (30×10) мм и толщиной 2 мм, соединенную с аналогичной алюминиевой пластинкой, подвергали совместному ударному нагружению в гидравлическом прессе. Деформация осадки составила 50 %.

Поверхности и состав разделенных стальной и алюминиевой пластинок исследовали в сканирующем электронном микроскопе JSM-6390LV с микроанализатором. Фазовый состав образцов определяли методом дифракции рентгеновских лучей в дифрактометре «Bruker».

При совместной пластической деформации железной и алюминиевой пластин с осадкой 50 % возникли зоны точечного контакта со значительным удельным давлением. Зоны точечного контакта сформировались за счет микрошероховатости образцов.

На рис. 1 приведены изображения поверхности железной и алюминиевой пластин, полученные в сканирующем электронном микроскопе. Перед началом осадки пластинки были отполированы. После прохождения твердофазного взаимодействия поверхности обоих дисков стали шероховатыми и неоднородными, что видно на изображениях, приведенных на рис. 1.

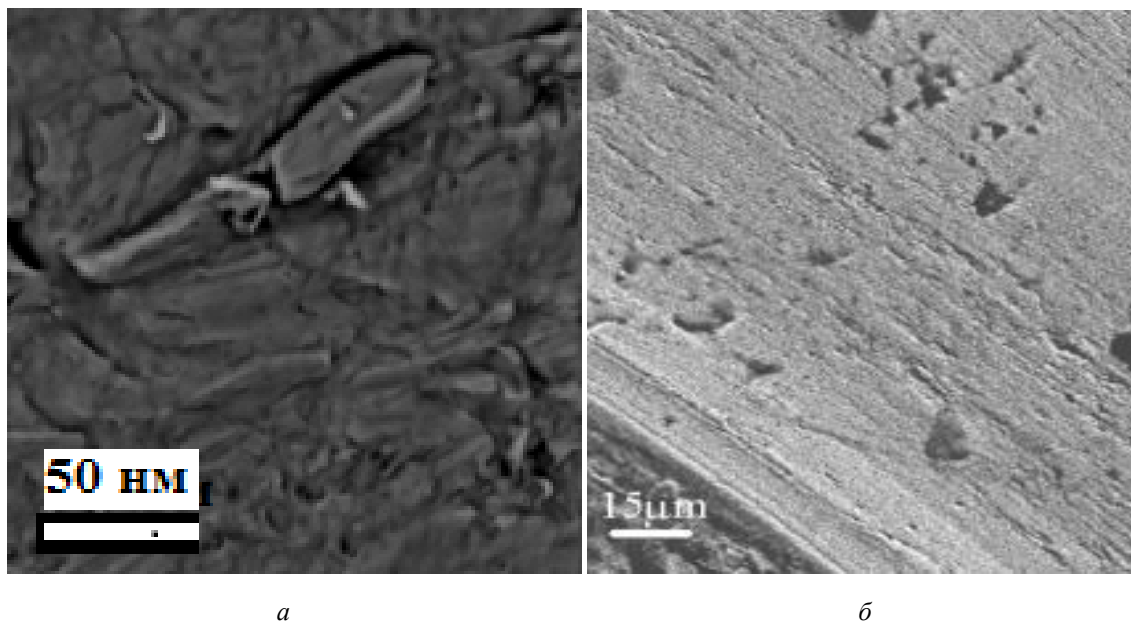


Рисунок 1 – Изображение в сканирующем электронном микроскопе поверхности железной (а) и алюминиевой (б) пластин после твердофазного взаимодействия

Неоднородности были проанализированы с помощью энергодисперсионного метода. Спектр, снятый с неоднородности, обнаруженной на железном диске, представлен на рис. 2. Видно, что в зоне неоднородности кроме элементов, содержащихся в стали, присутствует алюминий. Это может свидетельствовать о твердофазной реакции, прошедшей между сталью и алюминием. Химический состав неоднородности, изображенной на рис. 1, а, представлен в табл. 1.

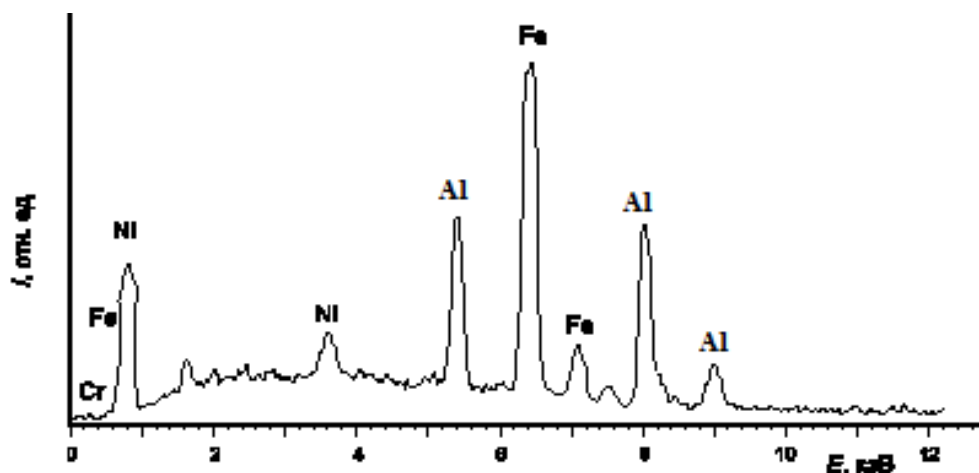


Рисунок 2 – Энергодисперсионный спектр, полученный в сканирующем электронном микроскопе от железной пластинки после твердофазного взаимодействия

Таблица 1

Химический состав, полученный в сканирующем электронном микроскопе от неоднородности на поверхности железной пластинки

Элемент	Si	Cr	Fe	Ni	Al
Содержание, %	0,3	6,2	28,6	3,3	60,5

Из табл. 1 следует, что исследованная неоднородность содержит значительное количество алюминия. Результаты исследований химического состава поверхности алюминиевой пластинки показали, что неоднородности на его поверхности значительно обогащены железом и другими компонентами из стального образца.

С целью выяснения возможности прохождения твердофазной реакции между медным и стальным образцами обе поверхности подверглись рентгеновскому фазовому анализу.

Анализ интенсивностей рефлексов дифракции рентгеновских лучей показал, что наряду с ГЦК решеткой, соответствующей алюминию, появились рефлексы новых фаз, не зафиксированных в таблицах ASTM.

Согласно Гилману [4] общий механизм механохимической реакции может быть объяснен с помощью метода молекулярных орбиталей. Так, деформации сдвига вызывают увеличение энергий их связывающих орбиталей и уменьшение энергии разрыхляющих орбиталей. Это уменьшает размер энергетического промежутка в спектре энергии связи, таким образом дестабилизируя систему. Когда энергетический промежуток становится равным нулю, электроны связи становятся делокализованными, потому что они могут находиться в состоянии разрыхляющих связей, не расходуя энергии. Таким образом, материал становится очень реактивным. Другой способ сказать это состоит в том, что энергия активации реакции обращается в нуль. Вопрос о том, каков будет продукт реакции, зависит не только от энергии активации, но и от геометрического фактора, который определяется расстояниями между атомами и углами между направлениями химических связей.

Ландау и Лившиц [5] рассматривали проблемы очень вязких жидкостей и хрупких твердых тел. Ими показано, что при частотах приложения напряжения порядка  $\omega \sim 1/\tau$  должно выполняться равенство  $\eta \sim \mu$ , где  $\eta$  – это вязкость жидкого состояния,  $\mu$  – модуль сдвига твердого состояния вещества,  $\tau$  – время приложения нагрузки. На основании расчетов они пришли к выводу, что при больших скоростях приложения нагрузки хрупкое твердое тело может вести себя как вязкая жидкость. Частота приложения нагрузки в кумулятивной струе достаточна для того, чтобы выполнялось соотношение  $\eta \sim \mu$ . В эксперименте с дисками это соотношение не выполнялось, поскольку образовался продукт твердофазного синтеза.

На рисунках, приведенных в работе, мы видим островки новой интерметаллидной фазы с характерной кристаллической решеткой. Любая кристаллическая структура имеет дискретные межатомные расстояния и углы между направлениями химических связей, характерные только для этой фазы. Новую фазу наблюдали на контактирующих поверхностях дисков. Согласно Панину [6] наименьшую сдвиговую устойчивость в нагруженном твердом теле имеет его поверхностный слой. Поэтому первичные сдвиги зарождаются на поверхности, генерируя в объем материала все виды деформационных дефектов.

Примером твердофазного превращения может служить мартенситный переход, когда исходная и конечные фазы когерентно связаны между собой. Для получения новой фазы необходимы небольшие изменения межатомных расстояний, а также углов между ними, что обеспечивает минимальную энергию образования мартенсита. Такие изменения межатомных расстояний и углов могут быть реализованы по схеме «сдвиг-поворот» [6]. Поэтому для образования новой фазы необходима пластическая деформация, проходящая по схеме «сдвиг-поворот». Возникшая при этом комбинация атомов может стать зародышем новой фазы, если она хорошо геометрически адаптирована к исходной матрице. Все другие возможности не реализуются в продукте реакции.

Томпсон Л.М. [7] предложил модель «сдвиг-поворот» на атомистическом уровне. Он рассматривает плотноупакованный кристалл в декартовой системе координат.

Кристалл растягивают вдоль оси, при этом допускается, что атомы при деформации остаются в одной и той же плоскости.

В плоскости плотноупакованных атомов приложенное к ней напряжение стремится раздвинуть плотноупакованные цепочки атомов. При достаточно большом значении удлинения эти цепочки становятся неустойчивыми по отношению к вращению, так что может возникнуть сдвиговое напряжение, приводящее к повороту.

Вариантом схемы «сдвиг-поворот» в мезоскопическом масштабе является т.н. «вращательная диффузия» [8].

Следует отметить, что из всех перечисленных моделей, только в работах Томпсона и Панина рассматривается металл как кристаллическое, а не как изотропное твердое тело.

На рисунке 3 приведена модель генерации межузельных бифуркационных вакансий, предложенных в [6]. Под действием внешней нагрузки и проходящего электрического тока возникает модуляция растягивающих и сжимающих нормальных и касательных напряжений. Эта модуляция напряжений создает зоны кривизны кристаллической решетки на интерфейсах, где имеются локальные внутренние дефекты и имеет место сопряжение увеличенных и уменьшенных межатомных расстояний. Здесь возникают межузельные бифуркационные вакансии, которых нет в стабильном трансляционно-инвариантном кристалле.

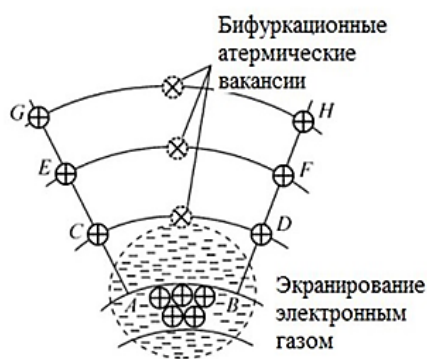


Рисунок 3 – Генерация межузельных бифуркационных вакансий [6]

Легче всего такая ситуация может возникнуть в мезеренных границах, что и наблюдается на рис. 3. Генерация межузельных бифуркационных вакансий в зонах локальной кривизны кристаллической решетки может приводить к зарождению внутренней трещины.

Таким образом, в работе исследованы процессы структурообразования на границе раздела практически нерастворимых друг в друге компонентов железа и алюминия при условиях приложения динамической нагрузки. Обнаружено, что при взаимодействии твердофазных образцов стали и алюминия, подвергнутых совместной осадке, могут формироваться продукты механохимических реакций, имеющие структуру, отличную от структуры исходных компонентов. Анализ условий, необходимых для переключения химических связей, является общим для микро-, мезо- и макромасштабных уровней.

#### Список литературы

1. Диаграммы состояния двойных металлических систем. – Т. 2 / Под ред. Н.П. Лякишева, – М.: Машиностроение, 1997. – 1024 с.
2. Болдырев В.В. Фазообразование и эволюция микроструктуры при механохимическом получении метастабильных твердых растворов / Т.Ф. Григорьева, С.В. Цыбуля, С.В. Черепанова, Г.Н. Крюкова, А.П. Барина, В.Д. Белых // Неорганические материалы. – 2000. – Т. 36. – № 2. – С. 194-200.
3. Панин В.Е. Поверхностные слои нагруженных твердых тел как мезоскопический структурный уровень деформации // Физическая мезомеханика. – 2001. – Т. 4. – №3. – С. 5-22.
4. Gilman J.J, Science, 274, 65, 1996.
5. Ландау, Л.Д. Теория упругости / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1965. – 202 с.
6. Панин В.Е., Егорушкин В.Е. Неравновесная термодинамика деформируемого твердого тела как многоуровневой системы. Корпускулярно-волновой дуализм пластического сдвига // Физ. мезомех. – 2008. – Т. 11. – № 2. – С. 9-30
7. Томпсон Д.М. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике. – М.: Мир, 1985. – 289 с.
8. Joshi S.P., Ramesh K.T. Rotational diffusion and grain size dependent shear instability in nanostructured materials // Acta Materialia. – 2007. – 09.031.

Получено 10.04.2020

---

МРНТИ 29.19

**Р.Б. Абылкалыкова<sup>1</sup>, Л.И. Квеглис<sup>1</sup>, К.Т. Иманжанова<sup>1</sup>, Б.Д. Нуркенова<sup>2</sup>, М.С. Жапарова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск,

<sup>2</sup>Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

#### ОСОБЕННОСТИ МАССОПЕРЕНОСА В ТАНТАЛЕ ПРИ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

*В работе исследованы продукты реакции, полученные при ионной имплантации азота, кислорода и фосфора в танталовую мишень. Установлено, что ионная имплантация азота в тантал приводит к возникновению фазы внедрения TaN с ГЦК-структурой; имплантация кислорода – образованию фазы TaO с плотноупакованной ГЦК-структурой; фосфора – образованию фосфида вольфрама Ta<sub>3</sub>P с тетрагональной структурой после дополнительного отжига при температурах, превышающих 800-900 °С. Сделана оценка локального давления потока ионов на поверхность мишени, которое приводит к локальному искривлению кристаллической решетки, благодаря которому возможен быстрый массоперенос имплантированных ионов в материале мишени.*

*Бұл жұмыста азот, оттегі және фосфор иондарын тантал нысанаға имплантациялау нәтижесінде алынған реакция өнімдері зерттелді. Азотты танталға иондық имплантациялау ББҚ құрылымымен TaN енгізу фазасының пайда болуына әкелетіні анықталды; оттегі имплантациясы – ТҚ құрылымының тығыз оралған құрылымымен TaO фазасын қалыптастыру; фосфор - 800-900 °С жоғары температурада қосымша өңдеуден кейін тетрагональды құрылымы бар вольфрамның Ta<sub>3</sub>P түзілуі. Мақсатты бетке ион ағынының жергілікті қысымын бағалау жүргізілді, бұл кристалл тордың локализацияланған қисықтығына әкеледі, соның арқасында имплантацияланған иондарды нысанаға тез арада массаға жіберуге болады.*

*In this work, the reaction products obtained by ion implantation of nitrogen, oxygen, and phosphorus into a tantalum target are investigated. It has been established that ion implantation of nitrogen into tantalum leads to the appearance of a phase of introduction of TaN with an fcc structure; oxygen implantation - the formation of the TaO phase with a close-packed structure of the fcc structure; phosphorus – the formation of Ta<sub>3</sub>P tungsten phosphide with a tetragonal structure after additional annealing at temperatures exceeding 800-900 °C. An estimate was made of the local pressure of the ion flux on the target surface, which leads to a localized curvature of the crystal lattice, due to which rapid mass transfer of implanted ions in the target material is possible.*

**Ключевые слова:** массоперенос, высокодозная имплантация, локальное давление, фазы внедрения.

Покрyтия на тугоплавких металлах, полученные методом ионной имплантации представляют научно-практический интерес в широком масштабе. Класс тугоплавких металлов представляется одним из перспективных материалов новых технологий в материаловедении, в силу чего ему предъявляются особые требования к жаростойкости, жаропрочности, трению и износу. Например, тугоплавкие металлы и сплавы на их основе, обладающие наибольшей сопротивляемостью эрозии, температуре и давлению, являются одними из первых кандидатных материалов для элементов термоядерного реактора (диверторных пластин, первой стенки и т.д.). Уровень напряжений в имплантированных металлах достигает значений порядка десятков ГПа. Внутренние напряжения приводят к кривизне кристаллической решетки, к образованию фаз высокого давления, фазовым превращениям мартенситного типа и др.

Имплантация ионов (N, O, P) в образцы тугоплавкого металла – тантала проводилась на ускорителе «Везувий 2-450» (ИЯФ НЯЦ РК). В качестве исходного материала использован поликристаллический тантал чистотой 99,96 %, вырезанный по плоскости (110) в виде прямоугольников размерами 8×1,5×0,5 мм<sup>3</sup>. После механической обработки образцы подвергались электрохимической полировке с целью удаления деформированных слоев.

Ионная имплантация азота и кислорода с энергиями 70 и 80 кэВ, фосфора 150 кэВ проводилась в вакууме ~1,3×10<sup>-3</sup> Па при плотностях тока, не превышающих 1 мкА×см<sup>-2</sup>. Дозы имплантации были выбраны следующим образом: 1,87×10<sup>17</sup> (Ф<sub>1</sub>), 3,74×10<sup>17</sup> (Ф<sub>2</sub>) и 5,6×10<sup>17</sup> (Ф<sub>3</sub>) ион/см<sup>2</sup>. Значения энергии ионов выбирались таким образом, чтобы обеспечить примерно одинаковые расчетные профили их распределения [1] без учета распыления. Для приведения в равновесное состояние образцы подвергались термическому отжигу в вакууме (6,6×10<sup>-3</sup> Па) через 100 °С в диапазоне температур 773-1373 К (500-1100 °С) с выдержкой в течение 1 часа каждый образец.

Идентификация структуры приповерхностных слоев проводилась по рентгенограммам, полученным с использованием узкого пучка монохроматизированного CuK<sub>α</sub>-излучения, направленного под скользящим (6°) углом к поверхности образца [2]. При образовании текстурированных фаз для уточнения результатов проводились дополнительные съемки при углах падения 3,9 и 15°. Время экспозиции при каждой съемке составило от 15 до 30 часов.

**Имплантация азота в тантал.** Имплантация ионов азота в тантал привела к образованию нитрида тантала TaN с плотноупакованной ГЦК-структурой. Наряду с TaN появилась фаза TaC с ГЦК-структурой (a = 4,4547 Å), которая возникает за счет имплантации методом отдачи углерода из атмосферы остаточных газов ускорителя. Последующий отжиг при 1000 °С ведет дополнительно к образованию фазы Ta<sub>2</sub>C (a = 3,1046 Å, c = 4,9444 Å), которая возникает в результате частичной карбидизации поверхности образца в атмосфере остаточных газов печи [3, 4].

По литературным данным [5,6] единственной фазой, имеющей плотноупакованную структуру, является фаза TaN. Мы считаем, что именно по этой причине имплантация ионов азота приводит непосредственно к образованию фазы TaN с ГЦК-структурой, хотя при малых дозах следовало бы ожидать сначала появления фазы Ta<sub>2</sub>N с более низким содержанием азота.

На рис. 1 представлены дозовые зависимости спектров РОР для образцов тантала, имплантированного ионами азота. Результаты экспериментальных данных приводят к тому, что при имплантации ионов азота в тантал концентрация азота в имплантированных слоях достигает определенного уровня, при превышении которого наблюдается процесс вытеснения его в области с меньшей концентрацией. После имплантации максимум распределения при дозах Ф<sub>1</sub> и Ф<sub>2</sub> оказался в 2,4 ра-

за глубже по сравнению с расчетным значением проективного пробега [1]. На рис. 2 приведены зависимости относительного количества имплантированных ионов азота в тантал при различных дозах внедрения.

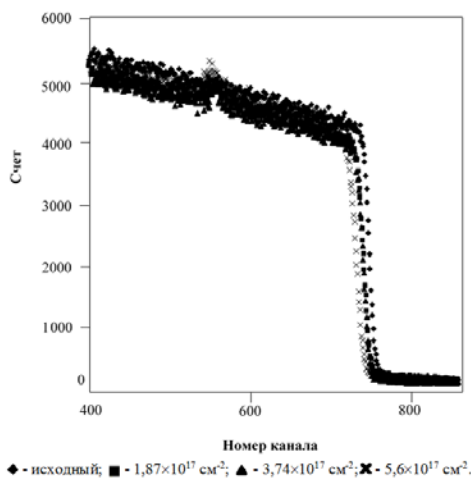


Рисунок 1 – Спектры обратного рассеяния протонов от поверхности тантала, имплантированного ионами азота

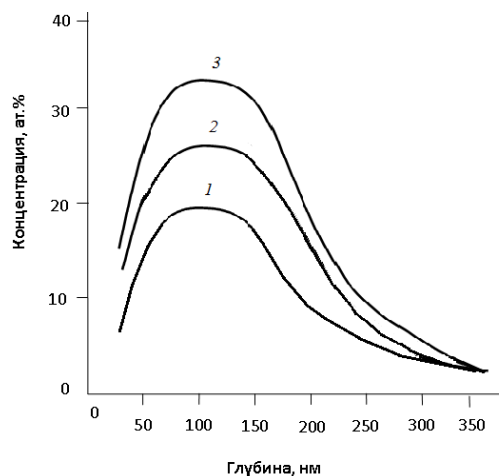


Рисунок 2 – Распределение по глубине азота в тантале при дозах: 1-  $1,87 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ ; 2 -  $3,74 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ ; 3 -  $5,6 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$

**Имплантация кислорода в тантал.** При внедрении ионов кислорода в тантал уже при дозе  $\Phi_1 = 1,87 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$  на рентгенограммах возникают отражения от поликристаллической фазы с ГЦК-структурой ( $a = 4,24 \text{ \AA}$ ), количество которой возрастает с увеличением дозы имплантации. Кроме того, наряду с этой фазой зарегистрирован также набор линий от карбида тантала TaC с ГЦК-структурой, возникающих за счет имплантации методом отдачи углерода из атмосферы остаточных газов ускорителя [3, 4]. Последующий изохронный отжиг при  $800^\circ \text{C}$  привел к образованию фазы  $\beta\text{-Ta}_2\text{C}$ , интенсивность отражений от которой усиливалась при дальнейшем повышении температуры отжига; при этом ГЦК-фаза, возникшая после имплантации в процессе отжигов, не распадалась.

Коэффициент  $\eta_{\text{O/Ta}}$ , представляющий собой отношение атомного радиуса кислорода к атомному радиусу тантала, составляет 0,41. В этом случае в процессе внедрения образуется фаза с плотноупакованной ГЦК-структурой, близкая по структуре и параметрам к TaN. Вместе с тем процессы фазообразования в образцах, имплантированных азотом и кислородом, отличаются при отжиге. Так, если в случае азота образование карбида тантала происходит при  $1000^\circ \text{C}$ , то в образцах, имплантированных кислородом, этот процесс начинается уже при  $800^\circ \text{C}$ .

Возникающая при имплантации тантала ионами кислорода фаза представляет собой оксид тантала TaO с ГЦК-структурой и является аналогом фазы TaN, в которой атомы азота заменены атомами кислорода.

Профили распределения кислорода в тантале при различных дозах аналогичны для случая азота, имплантированного в тантал. Результаты экспериментальных данных приводят к тому, что при имплантации ионов кислорода в тантал концентрация кислорода в имплантированных слоях достигает определенного уровня, при превышении которого наблюдается процесс вытеснения его в области с меньшей концентрацией.

**Имплантация фосфора в тантал.** Имплантация фосфора в образцы тантала приводит к появлению фаз TaC ( $a = 0,44547 \text{ нм}$ ) и  $\beta\text{-Ta}_2\text{C}$  ( $a = 0,31046 \text{ нм}$ ,  $c = 0,4944 \text{ нм}$ ) с плотноупакованными ГЦК- и гексагональной решетками, соответственно, появляющихся за счет углерода, осажденного на поверхность образцов, и последующей имплантации его методом отдачи [3-4]. При увеличении дозы имплантации интенсивность отражений от монокарбида тантала на рентгенограммах уменьшается. Последующий изохронный отжиг при  $800^\circ \text{C}$  усиливает интенсивность линий от

фазы  $\beta$ -Ta<sub>2</sub>C. Отжиг же при 1100 °C ведет к интенсивному образованию фазы Ta<sub>3</sub>P с тетрагональной структурой ( $a = 1,0154$  нм,  $b = 10,154$  нм,  $c = 0,5014$  нм) [7].

По литературным данным диаграмма состояния Ta-P не построена. Однако, согласно [5, 6], система Ta-P характеризуется наличием двух соединений TaP и TaP<sub>2</sub>. Согласно препаративной работе и тензометрическому и качественному рентгеновскому исследованиям в литературе не получено указаний о существовании широких областей гомогенности фосфидов тантала. В работе [5] приведены последние достоверные данные по структуре соединений тантал-фосфор.

Анализ полученных результатов приводит к тому, что при имплантации фосфора в тантал, так же как и в случае с вольфрамом, эффект появления новой фазы при имплантации зарегистрирован не был. Причиной этому может служить тот факт, что после имплантации не был зарегистрирован переход кристаллической решетки вольфрама в аморфное состояние, что является необходимым условием наблюдения новой фазы. Из этого следует, что достигнутая доза имплантации, скорее всего, оказалась недостаточной для такого вида фазовых переходов.

В отличие от спектров РОР образцов тантала, имплантированного ионами азота и кислорода, концентрация атомов фосфора с увеличением дозы имплантации непрерывно повышается. Здесь наблюдается тенденция к насыщению, связанная с эффектами распыления. Концентрационные профили распределения фосфора в тантале при различных дозах ( $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  и  $\Phi_3$ ) показывают, что максимум распределения глубже по сравнению с расчетным в 2,5 раза [1].

Работы по структурно-фазовым превращениям в тантале, имплантированном ионами фосфора, в литературе практически отсутствуют. Поэтому данные результатов сопоставили с экспериментальными результатами аналогичных работ по ионной имплантации образцов других переходных металлов, например молибдена, поскольку молибден родственен танталу и вольфраму и его фосфиды представляют практический интерес.

Из известных в литературе работ по ионной имплантации фосфора в массивные образцы переходных металлов отметим работу авторов [8] по имплантации молибдена ионами фосфора. Согласно работе [8] при внедрении ионов фосфора в молибден при дозе  $5 \times 10^{17}$  см<sup>-2</sup> и энергии  $E = 100$  кэВ замечено возникновение рефлексов от монокристаллического молибдена, характеризующее деформацию модифицированных слоев и появление рефлексов от текстурированной фазы карбида молибдена Mo<sub>2</sub>C. Отжиг образцов привел к восстановлению формы рефлексов от монокристаллического молибдена. Последующий отжиг при 1173 К привел к возникновению набора рефлексов от фосфида молибдена Mo<sub>3</sub>P с тетрагональной структурой в текстурированном состоянии. Дальнейший отжиг при 1473 К привел к полному его распаду. Появление карбида молибдена Mo<sub>2</sub>C связано с имплантацией атомов углерода методом отдачи из атмосферы остаточных газов ускорителя. Синтез фосфида молибдена Mo<sub>3</sub>P в ионно-имплантированных слоях, как и в нашем случае, происходит лишь при определенной температуре. При этом порог образования определяется температурой перехода метастабильного твердого раствора в соответствующем химическом соединении, стехиометрический состав которого отражает, по мнению авторов, среднюю концентрацию внедренной примеси в имплантированных слоях, оставшуюся при их нагреве до температур фазового перехода.

Образование фаз внедрения TaN, TaO и Ta<sub>3</sub>P при ионной имплантации является результатом локализации сдвиговой деформации в условиях ускоренного массопереноса. В условиях высокодозной ионной имплантации формируются высоконераспределенные пересыщенные твердые растворы, а также высокодефектные структурно-неравновесные состояния с высокой кривизной кристаллической решетки.

В работе на основе совокупности полученных результатов и с учетом литературных данных проанализированы основные закономерности образования упорядоченных фаз в тантале при имплантации его ионами элементов, образующими фазы внедрения.

В первую очередь обращает на себя внимание тот факт, что характер образования соединений при имплантации различных элементов зависит от вида внедряемого иона. В случае азота и кислорода фазы возникают непосредственно в процессе внедрения. При этом возникают соединения, обладающие плотноупакованными структурами и представляющие собой высокотемпературные фазы, которые при определенных температурах отжига распадаются.



При имплантации фосфором фосфид тантала  $Ta_3P$  возникает лишь при нагреве имплантированных слоев до температуры, превышающей определенные пороговые значения. Появляющаяся при этом фаза представляет собой стабильное соединение с тетрагональной структурой.

Внедрение ионов обычно сопровождается образованием карбидов с плотноупакованными структурами, которое происходит за счет имплантации отдачи атомов углерода, присутствующих в атмосфере остаточных газов ускорителя и осажденных на поверхность образцов.

Максимальная глубина проникновения ионов азота, кислорода и фосфора в танталовую мишень составляет порядка 250-350 нм, что не противоречит экспериментальным данным, полученным другими авторами. Согласно работе В.Е. Панина [9], утверждающей, что возможен эстафетный механизм массопереноса атомов в направлении приложенного внешнего давления, можно оценить диаметр канала, по которому проходят имплантированные ионы. Размер этот не может превышать величину межатомных расстояний (0,35 нм) в мишени тантала.

По данным распределений имплантированных ионов по глубине мишени расчет величины локального давления составил как минимум 700 МПа, что соответствует пределу текучести материала мишени.

Следовательно, под давлением ионного пучка возникает пластическая деформация материала мишени, а следовательно, кривизна кристаллической решетки. Согласно Панину В.Е. [10] кривизна кристаллической решетки является движущей силой направленного массопереноса.

В зонах кривизны решетки возникают сильно возбужденные неравновесные и новые разрешенные структурные состояния, имеющие собственную полосу энергетических состояний в электронно-энергетическом спектре [11]. В результате возникают новые структурные состояния или новые фазы.

Фазы внедрения образовались в результате локальной деформации приповерхностного слоя за счет границы упругих модулей между поверхностным слоем, имеющим высокую концентрацию имплантированных ионов, и основным материалом. При известных дозах имплантации начинается генерация дислокаций, процесс накопления которых приводит к дальнейшему росту деформаций. За счет коллективных эффектов взаимодействия деформация решетки достигает своего максимального значения. Такое состояние кристалла, после которого в условиях существенной деформации образуется упругая дисторсия, связанная с возникновением кривизны решетки, приводит к развитию ротационной неустойчивости и последующему формированию фаз внедрения.

#### Список литературы

1. Кумахов М.А., Муравлев В.Л., Аверьянов Е.Г., Симонов В.А., Хавкин Л.П. Проективные пробеги и разбросы пробегов для  $20 \text{ кэВ} \leq E \leq 1000 \text{ кэВ}$ . – М., 1974.
2. Абдрафиков А.П., Каздаев Х.Р., Баядилов Е.М., Кадыржанов К.К. Фотометрирование рентгенограмм модулированным световым пучком // Изв. АН КазССР. Серия физ.-мат. – 1984. – № 6.
3. Абылкалыкова Р.Б., Каздаев Х.Р., Скаков М.К. Ионно-лучевой синтез соединений в вольфраме // Вестник КазНУ. Сер. физ. – 2004. – № 1(16).
4. Abylkalykova, L. Kveglis, H. Kazdaev Regularities of Formation of the Ordered Structures in Refractory Metals at Ion Implantation. Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, 2011. – № 3.
5. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник / под ред. академика Н.П. Лякишева. – Москва, 2001. – Кн. 1. – Т. 3.
6. Барабаш О.М., Коваль Ю.Н. Структура и свойства металлов и сплавов: Справочник. – Киев, 1986.
7. JCPDS-International Centre for Diffraction Data. PDF-2 Data Base (Sets 1-51 plus 70-89).
8. Каздаев Х.Р., Акчулаков М.Т., Баядилов Е.М. Синтез соединений в молибдене, имплантированном ионами кремния, фосфора и серы // Поверхность. ФХМ. – 1990. – № 8.
9. Панин В.Е., Гриняев Ю.В. Елсукова Т.Ф., Иванчин А.Г. Структурные уровни деформации твердых тел // Изв. вузов. Физика. – 1982. – № 6.
10. Панин В.Е., Панин А.В., Елсукова Т.Ф., Попкова Ю.Ф. Фундаментальная роль кривизны кристаллической структуры в пластичности и прочности твердых тел // Физическая мезомеханика. – 2014. – Т. 17. – № 6.

11. Панин, В.Е. Солитоны кривизны как обобщенные волновые структурные носители пластической деформации и разрушения / Панин В.Е., Егорушкин В.Е. // Физическая мезомеханика. – 2013. – Т. 16. – № 3.

Получено 10.04.2020

МРНТИ 67.11.31

А.К. Айтказина<sup>1</sup>, Д.К. Галкина<sup>1</sup>, Д.Т. Нугуманов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

<sup>2</sup>ТОО «Усть-Каменогорская ТЭЦ», г. Усть-Каменогорск

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

*В данной статье рассматривается вопрос об определении статистических характеристик призмочной прочности бетона. Эти характеристики необходимы при выполнении вероятностных расчетов железобетонных конструкций. Предложены аппроксимирующие зависимости для определения статистических характеристик призмочной прочности через статистические характеристики кубиковой прочности бетона и коэффициента призмочной прочности. На основе статистического моделирования выбран закон распределения.*

*Бұл мақалада бетонның призмалық беріктігінің статистикалық сипаттамаларын анықтау туралы мәселе қарастырылады. Бұл сипаттамалар темірбетон конструкцияларының ықтималдық есебін орындау кезінде қажет. Бетонның кубтық беріктігінің және призмалық беріктіктің коэффициентінің статистикалық сипаттамалары арқылы призмалық беріктіктің статистикалық сипаттамаларын анықтау үшін аппроксимациялаушы тәуелділіктер ұсынылды. Статистикалық модельдеу негізінде бөлу заңы таңдалды.*

*In this article, the question of determining the statistical characteristics of the prismatic strength of concrete is considered. These characteristics are necessary when performing probabilistic calculations of reinforced concrete structures. Approximating dependences are proposed to determine the statistical characteristics of the prismatic strength through statistical characteristics of the concrete cube strength and the coefficient of prismatic strength. On the basis of statistical modeling, the distribution law.*

**Ключевые слова:** Прочность, статистическое моделирование, закон распределения, Matlab.

При выполнении вероятностных расчетов строительных конструкций необходимо знать изменчивость факторов, влияющих на показатели надежности конструкции. Например, при оценке вероятности безотказной работы изгибаемого железобетонного элемента по прочности нормального сечения наибольшее влияние оказывают изменчивость призмочной прочности бетона  $R_b$ , прочность продольной арматуры  $R_s$ , рабочая высота сечения  $h_0$ , площадь сечения продольной арматуры  $A_s$ .

Выполняя расчет на надежность железобетонных конструкций, многие авторы полагают, что коэффициенты вариации и законы распределения кубиковой прочности и призмочной прочности бетона являются одинаковыми. Однако следует заметить, что статистические характеристики прочности бетона определяются на образцах-кубах, а переход к призмочной прочности осуществляется через коэффициент призмочной прочности, который обладает изменчивостью и определенной зависимостью от прочности бетона. В работе предлагается оценить вероятностные характеристики призмочной прочности бетона.

Считаем, что кубиковая прочность бетона  $R$  – случайная величина, распределенная по нормальному закону (рис. 1). Используя экспериментальные данные работы [1], была построена зависимость коэффициента призмочной прочности  $K_p$  от кубиковой прочности  $R$  для тяжелого бетона. При этом среднюю прочность бетона каждого класса определялась при нормативном коэффициенте вариации  $v = 13,5 \%$ , как это принято в действующих нормах.

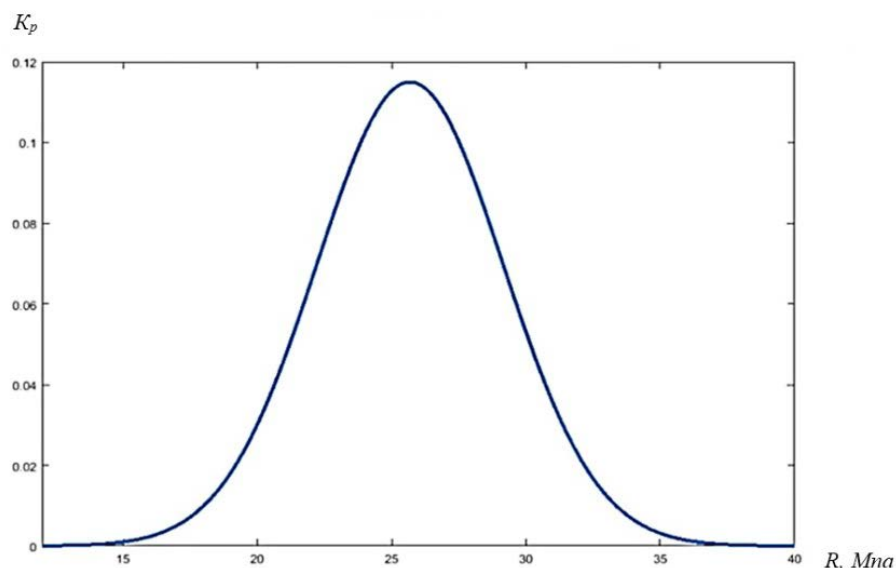


Рисунок 1 – Распределение кубиковой прочности  $R$

Для перехода от прочности кубов к прочности призм в действующих нормах применяется коэффициент призмной прочности  $K_p$ . Значения этого коэффициента устанавливаются опытным путем.

Используя программный комплекс Curve Fitting Toolbox Matlab 2016, была получена зависимость следующего вида:

$$K_p = 0,8339 - 0,001R \geq 0,7725, \quad (1)$$

где  $R$  – кубиковая прочность бетона, МПа.

Качество построенной зависимости оценивали по критерию RMSE (Root mean Squared Error). Близкие к нулю значения RMSE свидетельствуют о хорошем приближении исходных данных выбранной зависимостью. Для предлагаемой зависимости значение критерия RMSE составило 0,01033.

Аналогичным образом была установлена аппроксимирующая зависимость среднего квадратичного отклонения коэффициента призмной прочности  $\bar{K}_p$  в зависимости от кубиковой прочности бетона  $R$ .

Эта зависимость имеет следующий вид:

$$\bar{K}_p = 0,1386 \cdot e^{-0,0904 \cdot R} + 0,0930 \cdot e^{-0,0043 \cdot R}. \quad (2)$$

Значение критерия RMSE для этой зависимости составило 0,00577, что свидетельствует о хорошем приближении исходных данных.

По данным работы [1] был установлен и закон распределения коэффициента призмной прочности бетона  $R_p$ . Эмпирический и теоретический законы распределения  $K_p$  показаны на рис. 2. Теоретический закон распределения  $K_p$  представлен в виде гистограммы.

Кроме того, был построен нормальный вероятностный график  $K_p$  (рис. 3).

Визуальный анализ гистограммы (рис. 2) и нормального вероятностного графика (рис. 3) позволил выдвинуть гипотезу о нормальном законе распределения коэффициента призмной прочности  $K_p$ .

Проверку выдвинутой гипотезы проводили в среде Matlab, которая имеет хороший функционал для решения подобных задач. Для этого использовали критерий согласия Пирсона. Была использована функция chi2gof системы Matlab, которая возвращает два значения 0 или 1. В случае возвращения 0 подтверждается выдвигаемая гипотеза о законе распределения.

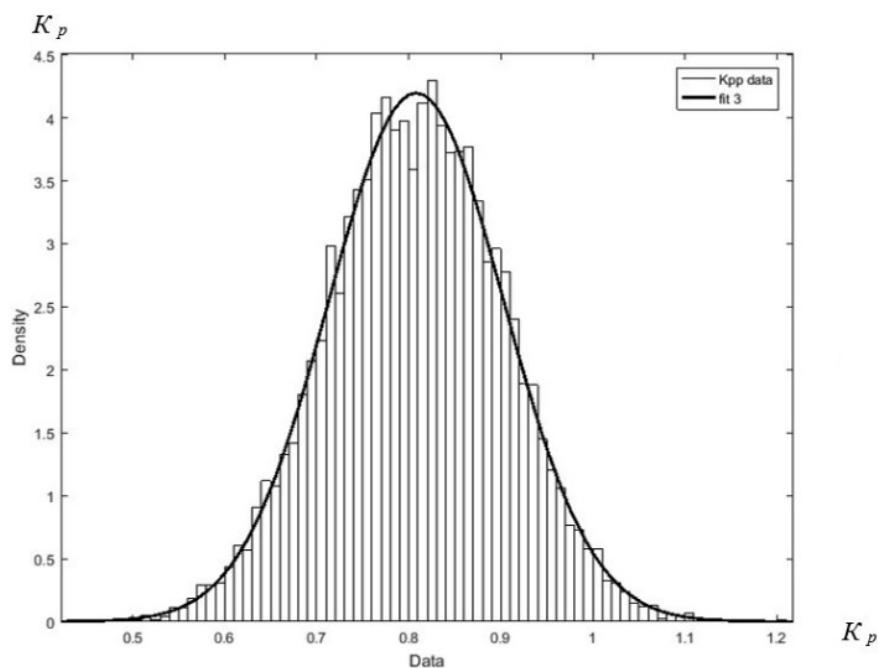


Рисунок 2 – Эмпирический (—  $K_{pp}$  data) и теоретический (— fit 3) законы распределения  $K_p$

Выполненные расчеты показали, что значение коэффициента призмной прочности  $K_p$  подчиняются нормальному закону распределения с доверительной вероятностью  $P = 0,95$ .

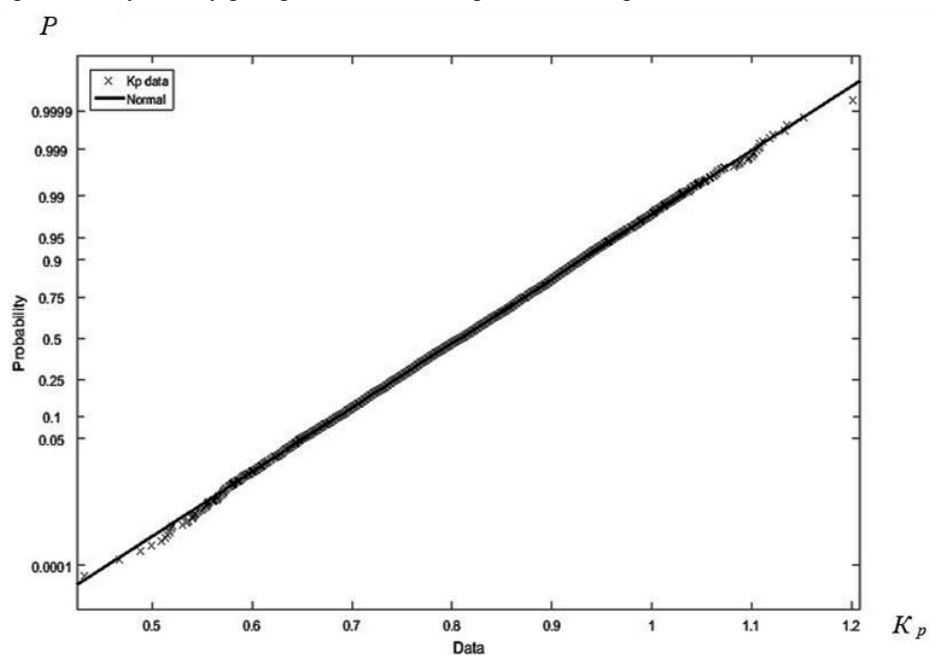


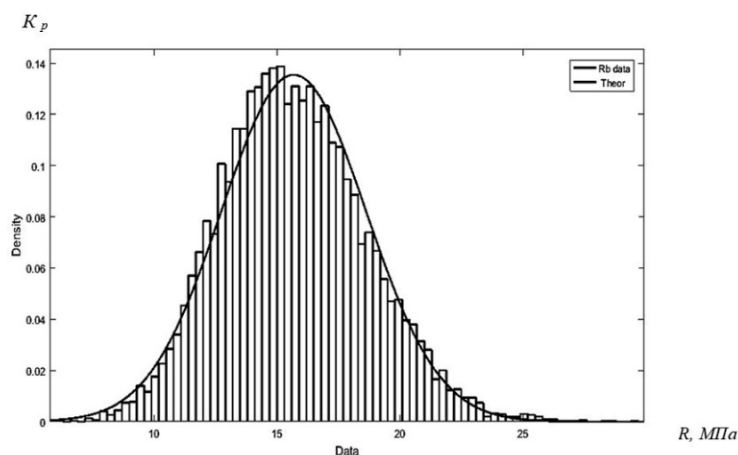
Рисунок 3 – Нормальный вероятностный график  $K_p$

Для получения статистических характеристик распределения призмной прочности был применен метод статистического моделирования, сущность которого показана на блок-схеме (рис. 4). Данный алгоритм был реализован в среде Matlab.



Рисунок 4 – Блок-схема метода статистического моделирования

Используя разработанные процедуры, был проведен вычислительный эксперимент с целью определения закона распределения призмочной прочности для различных классов бетона. Количество испытаний ( $N$ ) в каждом эксперименте принималось равным 10000. Результаты расчетов представлены на рис. 5, 6, 7.

Рисунок 5 – Эмпирическое и теоретическое распределение  $R_b$  для бетона класса B15

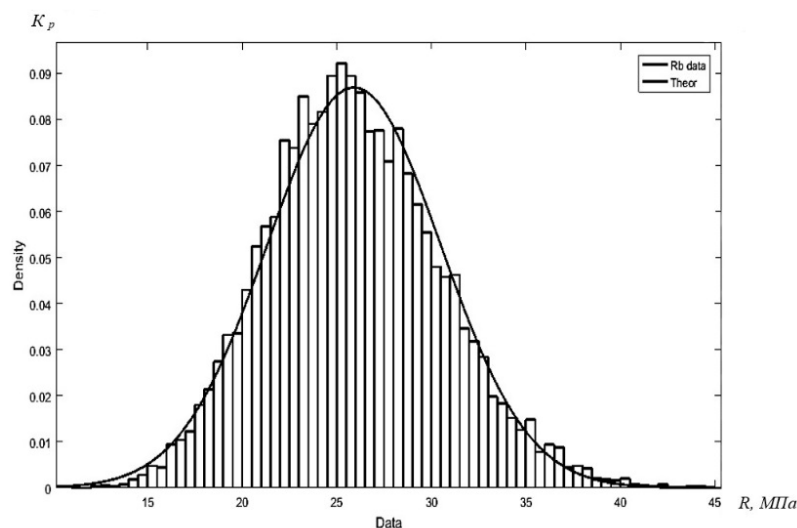


Рисунок 6 – Эмпирическое и теоретическое распределение  $R_b$  для бетона класса B25

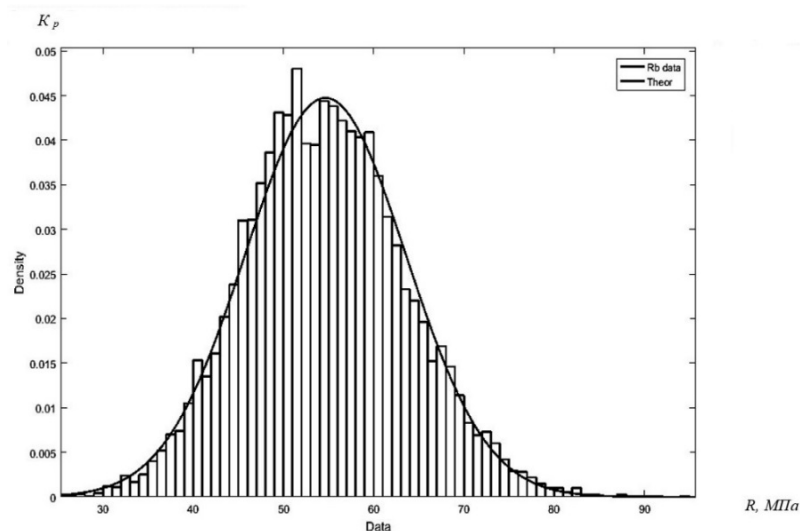


Рисунок 7 – Эмпирическое и теоретическое распределение  $R_b$  для бетона класса B55

Проверка статистической гипотезы о законе распределения показала, что призмная прочность  $R_b$  подчиняется нормальному закону распределения с доверительной вероятностью 0,95.

Таким образом, для описания изменчивости призмной прочности бетона  $R_b$  можно использовать нормальный закон, а его параметры могут быть определены методом статистического моделирования.

#### Список литературы

1. Гуца Ю.П., Ларичева И.Ю. Коэффициенты призмной прочности обычного тяжелого и мелкозернистого бетонов // Бетон и железобетон. – 1984. – № 8. – С. 37-38.

Получено 10.04.2020

MPHTI 539.1+533.924.621.38:621.793:519.6

**Д.М. Аубакирова<sup>1</sup>, Н.К. Ердыбаева<sup>1</sup>, Ж.Б. Сағдолдина<sup>2</sup>, В.Ф. Пичугин<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан<sup>2</sup>Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Казахстан<sup>3</sup>Томский политехнический университет, г. Томск, Россия**ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ОКСИНИТРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ ТИТАНА, ВЫРАЩЕННЫХ МЕТОДОМ РЕАКТИВНОГО МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ**

*Исследованы структура и свойства покрытий на основе оксинитридов титана, осажденных методом реактивного магнетронного распыления, нанесенные на стальные подложки. Использовались методы рентгеновской дифрактометрии. Определены коэффициенты нанотвердости и модуля Юнга, коэффициент упругого восстановления. Установлено, что структура, элементный и фазовый состав покрытий зависят от величины соотношения кислород/азот в составе реактивного газа, а также от величины отрицательного смещения на подложке. Степень упругого восстановления увеличивается с ростом толщины покрытия.*

*Болат табаншааа реактивті магнетронды шашырау әдісімен қондырылған титанның оксинитридті жабынның құрылымы мен құрылысы зерттелді. Рентгендік дифрактометр әдісі қолданылды. Наноқаттылық коэффициенті, Юнг модулі және серпімділік қалпына келу коэффициенті анықталды. Жабынның құрылымы, элементтік және фазалық құрамы реактивті газдың құрамындағы оттегі/азот қатынасына және табаншаадағы теріс ығысудың мөлшеріне байланысты екені көрсетілді. Серпімділік қалпына келтіру дәрежесі жабынның қалыңдығына байланысты ұлғаятыны анықталды.*

*The structure and properties of titanium oxynitride coatings deposited by reactive magnetron sputtering deposited on steel substrates are studied. Used methods of x-ray diffractometry. The coefficients of nano-hardness and Young's modulus, the coefficient of elastic recovery are determined. It was found that the structure, elemental and phase composition of the coatings depend on the oxygen / nitrogen ratio in the composition of the reactive gas, as well as on the magnitude of the negative bias on the substrate. The degree of elastic recovery increases with increasing coating thickness.*

**Ключевые слова:** магнетронное распыление, оксинитрид титана, структура поверхности, тонкие пленки, положение азота.

Одной из самых актуальных проблем научной медицины и практического здравоохранения являются сердечно-сосудистые заболевания. Разные заболевания сердечно-сосудистой системы являются основной причиной смертности населения. В настоящее время стентирование коронарных артерий является прогрессивным методом лечения таких заболеваний [1-2]. Стентирование сосудов, по сравнению с шунтированием, не требует разреза грудной клетки, наложения швов и длительного восстановления после операции. Наиболее подходящим материалом для стента является нержавеющая сталь. Этот материал подходит по механическим свойствам и обладает высокой коррозионной стойкостью. Однако при использовании нержавеющей стали существует вероятность высвобождения ионов никеля, хрома и молибдена из стента, что может вызвать аллергические реакции, неинтимальную гиперплазию и рестеноз. Модификация поверхности материала путем формирования покрытий является самым распространенным способом преодоления этой проблемы [3-4]. Покрытия на основе оксинитридов титана вызывают большой интерес из-за их способности улучшать антитромбогенные свойства, а также высокого уровня гемосовместимости. В зависимости от соотношения N/O в составе покрытия меняются свойства материала [5-6]. Эти покрытия применяют для коронарных стентов используемых в сосудистой хирургии. Покрытия должны быть сплошными, без каких либо дефектов и трещин, обладать высокими механическими и адгезионными характеристиками, с толщиной не более нескольких сотен нанометров. Одним из наиболее перспективных методов получения покрытий на основе оксинитридов титана является метод реактивного магнетронного распыления [7-8]. Он позволяет получать контролируемые по химическому составу покрытия, используя недорогие исходные материалы высокой частоты.



### Материалы и методы исследования

Для нанесения оксинитридных покрытий титана на поверхности подложки из стали 12X18H10T использовалась лабораторная установка магнетронного напыления УВН-200МИ (Томский политехнический университет, г. Томск, РФ). Режимы осаждения покрытий: распыляемый материал катод – Ti, давление для всех режимов напыления составляло  $10^{-3}$  Па, мощность 3 кВт, ток 3 А. Плазмообразующим газом служила смесь азота и кислорода. В качестве рабочего газа использовался аргон. Соотношение парциального давления газов азота и кислорода ( $p(N_2)/p(O_2)$ ) в составе рабочего газа поддерживалось на уровне:  $N_2/O_2 = 1,5$  (№ 1 режим),  $N_2/O_2 = 2$  (№ 2 режим),  $N_2/O_2 = 1$  (№ 3 режим). Все образцы напылялись при напряжении смещения -150 В. Время осаждения 30 мин. В процессе осаждения подложка нагревается за счет воздействия плазмы до  $130 \pm 5$  °С.

Рентгенофазное исследование покрытий было проведено на дифрактометре XRD-7000 (Shimadzu) в геометрии скользящего пучка (угол скольжения равен 3°):  $CuK_{\alpha}$ -излучение,  $\lambda = 1.5418$  Å, время экспозиций 1 с, шаг сканирования 0,02°, угол дифракций  $2\theta = 10^\circ \div 90^\circ$ ,  $U = 30$  кВ,  $I = 30$  А. Идентификация фаз проводилась с помощью базы данных PDF-4 ICDD. Объемное содержание кристаллических фаз рассчитывалось в программе PowderCell 2.4. Измерение нанотвердости и модуля Юнга покрытий проводили на нанотвердомере НаноСкан – 4D Компакт. Характеристики осажденных пленок и оптические параметры полученных покрытий приведены в табл. 1.

Таблица 1

Режимы нанесения и характеристики покрытий

Номер режима	Скорость натекания газов, ml/min		Соотношение $N_2/O_2$	Толщина пленки, нм	Показатель преломления при 632,8 нм
	$Q_{N_2}$	$Q_{O_2}$			
№1	3,06	2,06	1,5	$142 \pm 5,7$	2,43
№2	6	3	2	$135 \pm 9,5$	2
№3	3	3	1	$164 \pm 13,5$	2

### Результаты и их обсуждения

На рис. 1 показаны результаты рентгенофазного исследования оксинитридных покрытий титана на поверхности стали 12X18H10T. На дифрактограммах исследуемых образцов присутствуют рефлексы, соответствующие двум модификациям диоксида титана: анатаза и рутила с тетрагональной структурой, рефлексы железа из подложки.

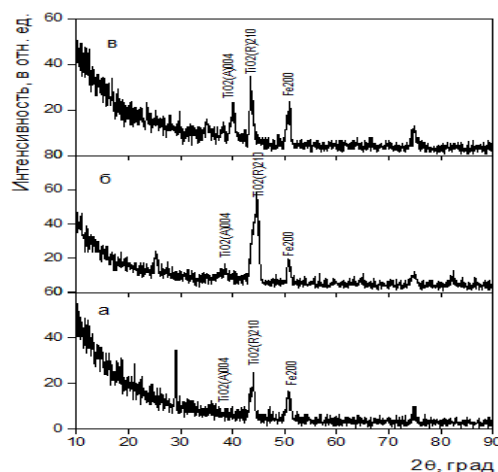


Рисунок 1 – Дифрактограммы оксинитридных покрытий титана, полученных при разных режимах:  
а) № 1; б) № 2; в) № 3

Результаты исследования показывают, что увеличение содержания азота в пленках приводит к изменению интенсивности дифракционных рефлексов, что обусловлено изменением фазового состава покрытий. Интенсивность дифракционных пиков преобладающих фаз рутила увеличиваются с ростом содержания азота в газовой атмосфере. Доля анатаза уменьшается с увеличением содержания азота в пленках и приводит к ослаблению интенсивности дифракционных пиков.

Полученные результаты наноиндентирования показывают высокие значения нанотвердости и модуля Юнга покрытий, что свидетельствует об их высокой прочности. Нанотвердость покрытий зависит от режима напыления. Нанотвердость покрытий, осажденных в режиме смещения, на 7-20 % выше нанотвердости покрытий, осажденных в режиме заземленной подложки. Это связано с кристаллизацией зерен покрытий при их росте в режиме смещения. Имея высокие значения нанотвердости, покрытия обладают высокой механической прочностью и хорошими упругими свойствами. Это также означает, что уменьшается вероятность образования трещин на поверхности покрытия.

Основные показания нанотвердомера: значения твердости, модуля Юнга и коэффициента упругого восстановления указаны в табл. 2.

Таблица 2

*Результаты исследования методом наноиндентирования при силе 3 мН*

Исследуемые образцы	H, ГПа	E, ГПа	R, %
Сталь 12Х18Н10Т	2,1±0,2	220±11	-
№ 1 режим	4,5±0,2	298±18	84
№ 2 режим	3,5±0,2	109±16	82
№ 3 режим	4,8±0,2	227±23	88

Исследования механических свойств покрытий показывают, что характер деформаций покрытий является упруго-пластичным. При снятии нагрузки происходит частичное восстановление отпечатка, при этом степень восстановления увеличивается с ростом толщины покрытия. По кривым нагрузки-разгрузки определено упругое восстановление  $R$ :

$$R = \frac{H_m - H_0}{H_m} * 100 \%,$$

где  $H_m$  – максимальная глубина внедрения индентора,  $H_0$  – глубина остаточного отпечатка. Экспериментально измеряемый параметр  $H_0$  характеризует предел текучести покрытия.

**Заключение.** В процессе работы исследованы образцы №1, №2, №3 с разными соотношениями О/Н. Получены дифрактограммы этих образцов и установлено, что увеличение содержания азота в пленках приводит к уменьшению объемной доли кристаллической фазы анатаза и изменению соотношения фазовых долей. Определены результаты наноиндентирования: значение твердости, модуля Юнга и коэффициент восстановления упругости.

#### Список литературы

1. A.T.L. Ong, E.P. McFadden, E.Regar. Late angiographic stent thrombosis (LAST) events with drug eluting stents // J Am Coll Cardiol. – 2005. – № 45 (12). – P. 2088-92.
2. Конищев М.Е., Кузьмин О.С., Морозова Н.С., Пичугин В.Ф. Синтез нанокристаллических пленок оксидов и оксинитридов титана методом реактивного магнетронного распыления // Изв. вузов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 11/2. – С. 235.
3. A. Pustovalova, V. Pichugin, N. Ivanova, M. Bruns. Structural features of N-containing titanium dioxide thin films deposited by magnetron sputtering // Thin Solid Films. – 2017. – № 627. – P. 9-16.
4. Пичугин В.Ф., Пустовалова А.А., Аубакирова Д.М. Структурные особенности и физико-химические свойства азотосодержащих пленок диоксида титана, выращенных методом реактивного магнетронного распыления // 14-я Международная конференция «Пленки и покрытия-2019». – Санкт-Петербург. – 2019. – С. 507-510.

5. Пичугин В.Ф., Плотников С.В., Ердыбаева Н.К., Аубакирова Д.М. Структура поверхности, фазовый и химический состав азотосодержащих пленок оксидов титана, осажденных методом реактивного магнетронного распыления // Вестник ВКГТУ. – 2019. – № 4. – С. 130-133.
6. Бойцова Е.Л., Леонова Л.А. Исследование покрытий хирургических имплантатов, генерирующих оксид азота (NO) // Химия в интересах устойчивого развития. – 2018. – № 26. – С. 443-447.
7. Юрьев Ю.Н., Михневич К.С., Кривобоков В.П., Киселева Д.В. Свойства пленок нитрида титана, полученных методом реактивного магнетронного распыления // Известия Самарского научного центра российской академии наук. – 2016. – № 4(3). – С. 672-676.
8. Вилья Н., Голосов Д., Нгуен Т. Формирование пленок оксида титана методом реактивного магнетронного распыления // Доклады БГУИР. – 2019. – № 5(23). – Р. 87-93.

Получено 10.04.2020

MFTAA 29.19.16

Л.С. Баймолданова<sup>1</sup>, Г.К. Уазырханова<sup>1</sup>, Б.П. Гриценко<sup>2</sup>, М.К. Сабиева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Томск политехникалық университеті, Томск қ., Ресей

#### АЛТЫНМЕН ИМПЛАНТАЦИЯЛАУ НӘТИЖЕСІНДЕ КӨПҚАБАТТЫ (TiAlYSi)N/CrN ЖАБЫНЫНДАҒЫ ЭЛЕМЕНТТЕРДІҢ ҚАЙТА ТАРАЛУЫ

Мақалада ауыр алтын иондарымен имплантациялау нәтижесінде көпқабатты (TiAlYSi)N/CrN жабын элементтерінің қайта таралуы зерттелген. Көпқабатты (TiAlYSi)N/CrN жабынның элементтерін талдау RBS, SIMS, EDX сияқты ядролық-физикалық әдістер көмегімен жасалды. Жергілікті аймақтарда дислокация сияқты ақаулардың пайда болу механизмдері, сондай-ақ жекелеген TiAlN/CrN көпқабаттардың фазааралық шекарасында элементтердің қайта таралуы қарастырылған.

В данной статье приведены результаты экспериментальных исследований многослойных покрытий (TiAlYSi)N/CrN после имплантации тяжелыми ионами золота. Приведен анализ элементов с помощью ядерно-физических методов, таких как RBS, SIMS, EDX. Рассмотрены механизмы образования дефектов в локальных областях, таких как дислокации и межузельные петли, а также перераспределение элементов на межфазной границе отдельных монослоев TiAlN/CrN.

The peculiarities of surface treatment of a multilayer nanocomposite (TiAlSiY)N/CrN coating by implantation of heavy Au ions are studied. The analysis of elements using nuclear-physical methods, such as RBS, SIMS, EDX. The mechanisms of defect formation in local regions, such as dislocations and interstitial loops, as well as redistribution of elements at the interphase boundary of individual TiAlN/CrN monolayers are considered.

**Түйін сөздер:** көпқабатты жабындар, көп элементті жабындар, құрылым, ион имплантациясы.

*Kіріспе.* Ион-плазмалық үрдістер жағдайында құрылымдардың әртүрлі типтерін қалыптастыру функционалды жабындармен жұмыс жасайтын көптеген ғылыми топтар үшін зерттеу нысаны болып табылады [1]. Қабыршақтардың беті, шекаралары мен бөлшектері арасында туындайтын өлшемі мен беттік әсері айтарлықтай болатын тұндыру үрдісінде өзара жабын және төсеніш арасында қалыптасатын бөлшектердің өзара әсерлесуі маңызды рөл атқарады. Көп қабатты қабықшалардағы әртүрлі жұқа қабаттардың кристалдық торларындағы атомдарды фазааралық шекараларында ауыстыруға болады, бұл өз кезегінде материалдың ығысу модуліне пропорционал қосымша кернеу энергиясының пайда болуына әкеледі. Түрлі ығысу модулі бар қабаттар орналасулардың қозғалуына кедергі келтіреді. Сонымен қатар, траекториядағы ауытқулар немесе дән шекарасындағы жарықшақтардың қайта бөлінуі жабындардың сынуға төзімділігін арттыруға көмектеседі. Көп қабатты құрылым әрбір келесі қабатқа шытынау әсерін азайтады. Әртүрлі физикалық-механикалық сипаттамалары бар нанометрлік масштабты қабаттардың мерзімді түрде ауысуы ішкі кернеулердің концентрациясы, жарықшақтардың таралуы, сонымен қатар осындай құрылымның сыну қаттылығының жоғарылауы сияқты көп қабатты құрылымының қасиеттерін айтарлықтай өзгертуге мүмкіндік береді [2, 3].

Осы тақырыптағы көптеген ғылыми еңбектерге шолу жасалынды [4-12]. Әдебиеттерге шолудан келесі айтарлықтай айырмашылық сипаттамаларын атап өткен жөн: жоғары тотығу және жарықшаққа төзімді, жылу және химиялық тұрақтылық, бұл материалдың микро және нанокұрылымдарының өзгеруіне байланысты, атап айтқанда, дән мөлшері, кристаллит пішіні, дәндер арасындағы қашықтық, көрші дәндердің атомдары арасындағы химиялық байланыстардың кеңеюі.

Нанокөпбейнәттік жабьндардың әр типінің құрамдас бөліктері, төсеніш температурасы, өндіріс әдісі, каттылық пен серпімділік модулі, дән мөлшері, анықталған фазалар, осылайша қолданудың ерекше сипатын беретін ерекше комбинациясы бар. Осыған байланысты фазалық құрамды, құрылымды, кернеулік күйді, механикалық және жылу сипаттамаларын қалыптастыру үрдістерін зерттеу ғылымда өте өзекті тақырып болып отыр.

Жоғарыда айтылғандарды назарға ала отырып, осы жұмыстың мақсаты алтын иондарымен имплантациялану нәтижесінде көпқабатты (TiAlSiY)N/CrN жабьндары элементтерінің қайта таралуын (ену тереңдігі бойынша) зерттеу болып табылады.

*Материал және эксперимент әдістемесі.* Зерттеу материалы ретінде нанаоөлшемді (TiAlSiY)N/CrN көпқабатты жабьндары алынды. Эксперименттік зерттеулер Сумы мемлекеттік университетінің ғылыми-зерттеу зертханаларында (Украина), Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университетінің «Veritas» басымдылықтар орталығында жүргізілді.

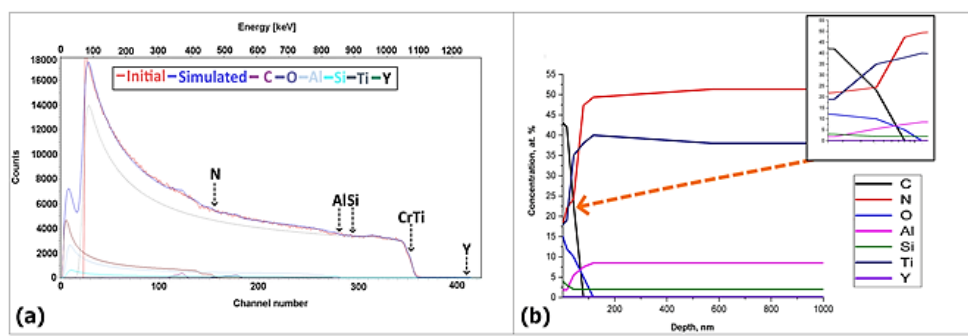
Зерттеуде 2,2×2,0 см және қалыңдығы 2 мм-ге дейін болатын тотығуға берік болаттан жасалған үлгілер қолданылды. Бұл үлгілер механикалық өңдеуден кейін азот атмосферасында TiAlSiY және Cr элементтерінің (0,998 % тазалық) концентрациясы бар катодтардан алынды. Екі катодты алмастырып жабьндар ретімен орналастырылды, оның қалыңдығы мөлшермен 18-20 нм болды. Жабьнның жалпы қалыңдығы 4 мкм-ден артық. Әрбір үлгіні 4-ке кесіп, біреуінің бетінің кедір-бұдырлығы Ra = 0,02 – 0,15 мкм болатыны Nissan High Voltage Co Ltd [13] типті үдеткішпен Au имплантациясы үшін қолданылды. Иондар ағыны екі электродтан түзіліп, 60 кэВ-қа дейін үдей түсті, ал ағынның ток тығыздығы 1,36 мкА/см<sup>2</sup> құрады [14].

Элементтік талдау JEOL 100 мм<sup>2</sup> (EDX) рентгендік спектрометрінің көмегімен жүргізілді. Барлық EDX деректері тежегіш сәулелену мен фондық есептеулерін жоятын сүзгіден өтті.

Элементтердің терең таралуын зерттеу үшін SIMS екінші реттік иондық масса спектроскопиясы қолданылды. Hiden SIMS жұмыс станциясы IG20 ионды зеңбірекпен және 9 мм квадрупольдық массалық Максим HAL7 анализатормен жабдықталған. O<sup>2+</sup> иондық сәулесінің энергиясы 2 кэВ болды, сонымен қатар вакуум камерасына 1·10<sup>-6</sup> Тор қысымына қосымша вакуум берілді.

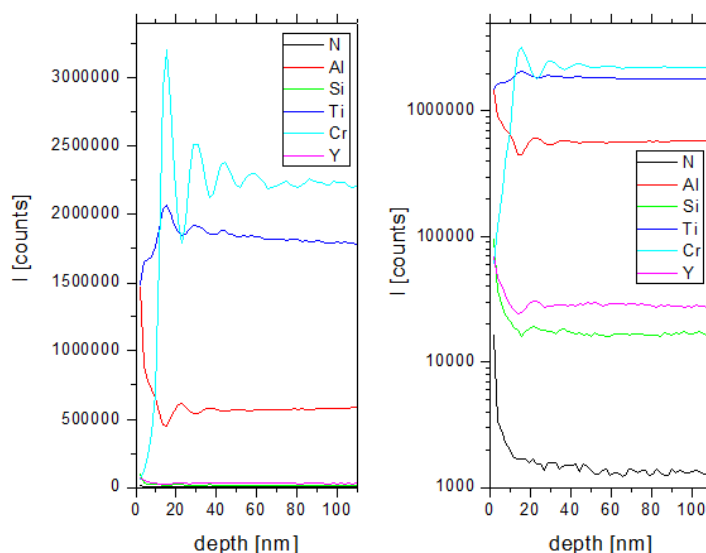
Жабьнды тұндыру жағдайында қабаттың модуляциясын анықтау үшін Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS) қолдана отырып, кейбір үлгілер зерттелді. Тәжірибелер үшін энергиясы 1,4 МэВ болатын <sup>4</sup>He<sup>+</sup> иондары пайдаланылды, ионды детектордың энергетикалық дәлдігі 14 кэВ болды.

*Зерттеу нәтижесі мен талқылау.* 1, а-суретте Au<sup>+</sup> иондарымен сәулеленуге дейінгі алынған RBS спектрлері берілген. N, Al, Si, Ti, Cr және Y (0,15-0,17 %) жабьн элементтерінің кинематикалық аймақтары суретте анық көрінеді. Осы спектрлерден элемент профильдері (1, b-сурет) жабьн тереңдігі бойынша алынды. Қабаттың қалыңдығы (≤ 20 нм) аз болғандықтан алынған RBS спектрлерінен қабаттар дәлдігін алу мүмкін емес.

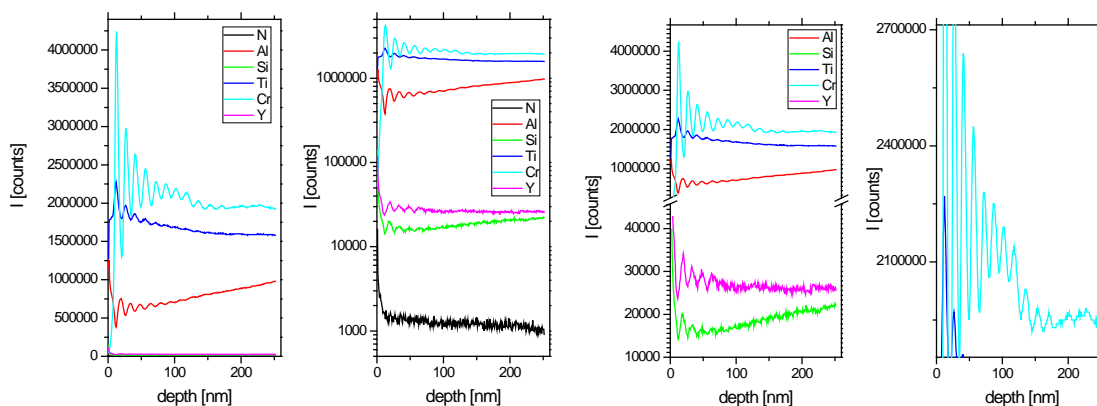


1-сурет – (TiAlSiY)N/CrN көп қабатты жабьнның (a) RBS спектрлері (b) тереңдікке байланысты құраушы элементтердің профильдері

2, 3-суреттерде көпқабатты (TiAlSiY)N/CrN жабынның SIMS нәтижелері көрсетілген, тереңдік профилінің SIMS талдауы.  $N^+$ ,  $Al^+$ ,  $Si^+$ ,  $Ti^+$ ,  $Cr^+$  және  $Y^+$  иондық токтарының тереңдікке (нм) тәуелділігі түрінде берілген. Сызықтық және логарифмдік шкала бойынша ұсынылған. Сканерлеу ауданы – 300x300 мкм және 500x500 мкм. Талданған аудан 10 % құрады. Мөлшермен ~1.4 мкм талдау тереңдігінде өлшенген тереңдік профилідері CrN алтыншы қабатына дейін (86,9 нм) қабаттарды байқауға мүмкіндік берді. Алайда, жабынның бастапқы кедір-бұдырлығы талдау тереңдігінен (2 мкм) жоғары болғандықтан, қателік әлі де жоғары болды. Ол жабынның бетіне біркелкі таралған жағдайда, қосқабаттың орташа тереңдігі 14,4 нм құрайды. Жалпы көріністе Si, Y қоспаларының шамамен кішкентай үлестері көрінеді. Жалпы жабындардың стехиометриясы бүрку нысанының элементтік құрамына сәйкес келді.

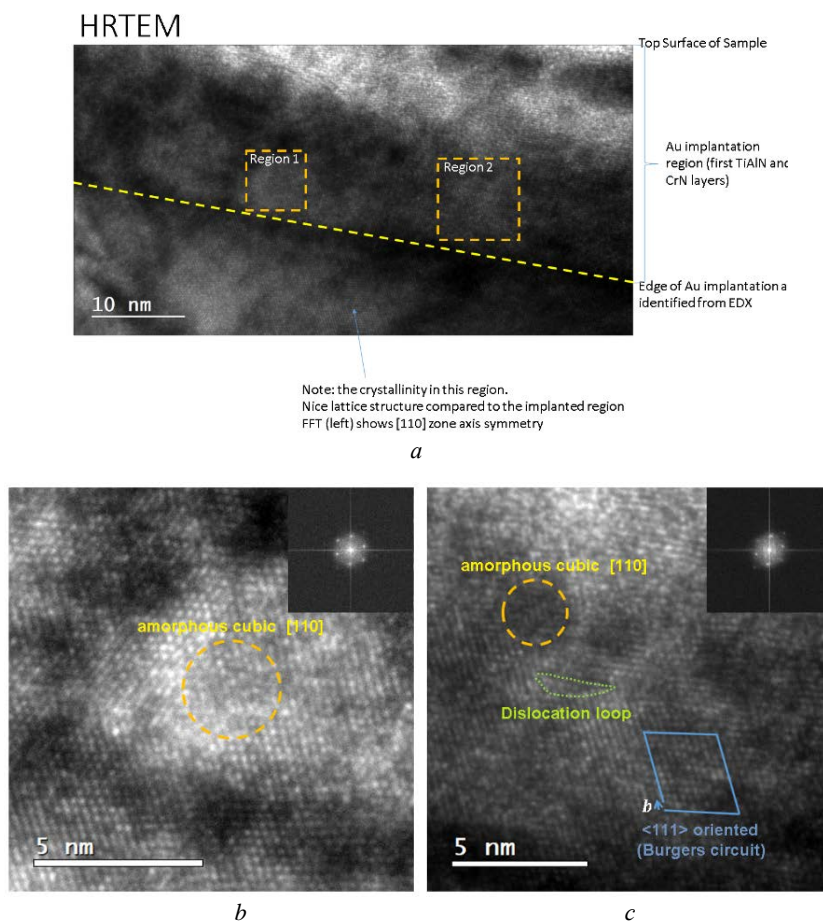


2-сурет – Тереңдік профилінің SIMS талдауы. Сканерлеу ауданы – 300x300 мкм



3-сурет – Тереңдік профилінің SIMS талдауы. Сканерлеу ауданы 500x500 мкм

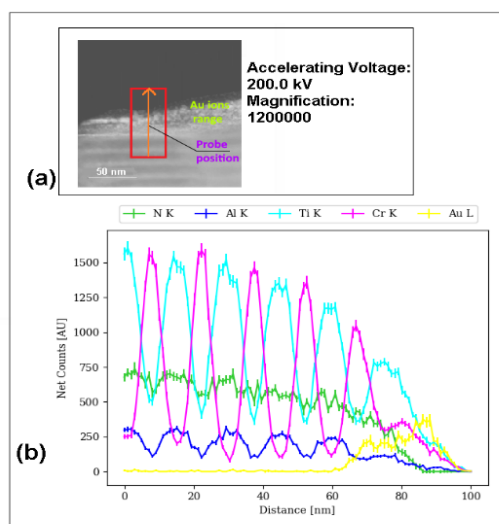
4-суретте имплантацияланған қабаттар арасындағы көлденең қимадағы HRTEM нәтижелері көрсетілген, олардан нанокристаллиттердің өсу бағыты [111] көрінеді, өлшемі 5 нм аморфты аймақтар көрінеді.  $Al^+$  иондары толығымен қалыңдығы 18,6 нм (TiAlSiY)N қабатына (EDS спектріне сәйкес) еніп, CrN қабатында тоқтайды (осы қабат ішінде), яғни иондардың жабынға ену тереңдігі 20 нм-ден аспады.



4-сурет – Имплантацияланған қабаттар арасындағы HRTEM нәтижелері

Имплантацияланған және имплантацияланбаған аймақтар арасындағы кристаллдылықтың айтарлықтай айқын айырмашылығы бар (4-сурет). FFTTEM аймақтың [110] осьтік симметриясын көрсетті, имплантацияланған қабаттар (4, b, c-сурет) негізінен аморфты кубты [110] бөліктермен толтырылған. 4, c-суретте бұрандалы және шеттік дислокациялар көрінеді, жабынның жоғарғы қабатындағы ақау ионды имплантациялау кезіндегі радиациялық әсерден болатын зақымға байланысты болуы мүмкін.

5-суретте көрсетілген мәліметтерде имплантацияланған (TiAlSiY)N/CrN жабын қабаттарының сызбасы көрсетілген. Au иондары имплантацияланған аймақта біркелкі таралмағанын көрсетеді. Au көбірек концентрациясы бетке жақын орналасқанын көруге болады (10 нм асқан жұқа қабатпен). Бұл EDX мәліметтері (TiAl)N/CrN қосқабатының беткі қабатындағы имплантациясының әсерін көрсетеді. Бұл Ti және Al әртүрлі ауыспалы қабаттардың элементтері болғандықтан Cг-мен қарсы фазада болады. Бұл өсу параметрлерімен және SIMS нәтижелерімен байланысты. Алайда, Au имплантациясының анағұрлым әсер етуі мүмкін беттің жоғарғы бетінде элемент концентрациясы тепе-теңдік күйінде болады. Имплантацияланған аймақтың жоғарғы бөлігіндегі азот концентрациясы Au иондарының тұндыруды жоғалтуына байланысты айтарлықтай төмендеді. Si және Y сигналдары мұнда көрсетілмеген, өйткені сигналдар өте әлсіз болғандықтан, оларды EDX (<1 %) көмегімен сенімді түрде анықтау мүмкін болмады. Бұл Au иондарының (TiAlSiY) қабатына толық еніп, (EDS сәйкес) CrN қабатында тоқтағанын және иондардың ену тереңдігі шамамен 20 нм болатындығын көрсетеді.



5-сурет – Имплантицияланған (TiAlSiY)N/CrN жабын бетінің EDS талдауы:  
(a) сканерлеу аймағының SEM кескіні; (b) үлгіге элементтердің таралу тереңдігінің профілі

Сонымен қатар, көп қабатты (TiAlSiY)N жабындардың беткі қабаты алтын иондарының өте әлсіз іздерін көрсетеді, бұл иондардың осы қабат арқылы толығымен өтіп, келесі CrN қабаттың бөліну шекарасына жеткенде тоқтайтындығын көрсетеді.

**Қорытынды.** Сонымен, имплантацияға дейінгі және кейінгі (TiAlSiY)N/CrN көпқабатты жабындарының элементтерінің таралуын зерттеудің эксперименттік нәтижелері негізінде келесі қорытындылар жасауға болады:

- Au ионының жоғары дозаларын көп қабатты нанокөпқабатты жабынға имплантациялау беткі қабаттарда құрылымдық және композициялық өзгерістерге әкелді.
- ауыр иондар беткі қабаттан екінші қосқабатқа (~ 25-30 нм) дейін еніп, EDS мәліметтеріне сәйкес сызықтық емес таралумен байытылған Au аймағын құратындығы анықталды.
- иондардың жоғары дозалары көптеген құрылымдық ақаулардың пайда болуына себеп болды.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Çölmekçi, S.; Karpuz, A.; Köçkar, H. Total Film Thickness Controlled Structural and Related Magnetic Properties of Sputtered Ni/Cu Multilayer Thin Films. J. Magn. Magn. Mater. – 2019. – 478, 48-54. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2019.01.086>.
2. Musil, J. Hard Nanocomposite Coatings: Thermal Stability, Oxidation Resistance and Toughness. Surf. Coat. Technol. – 2012. – 207, 50-65. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.05.073>.
3. Contreras, E.; Galindez, Y.; Rodas, M. A.; Bejarano, G.; Gómez, M.A. CrVN/TiN Nanoscale Multilayer Coatings Deposited by DC Unbalanced Magnetron Sputtering. Surf. Coat. Technol. – 2017. – 332, 214–222. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.07.086>.
4. A.D. Pogrebnjak, I.V. Yakushchenko, A.A. Bagdasaryan, O.V. Bondar, R. Krause-Rehberg, G. Abadias, P. Chartier, Oyoshi K., Takeda Y., Beresnev V.M., Sobol O.V. Microstructure, physical and chemical properties of nanostructured (Ti-Hf-Zr-V-Nb)N coatings under different deposition conditions Mater. Chem. Phys. 2014 Vol. 147. – № 3. – P. 1079-1091.
5. O.V. Sobol', I.V. Yakushchenko Influence of Ion Implantation on the Structural and Stressed State and Mechanical Properties of Nitrides of High-entropy (TiZrAlYNb)N and (TiZrHfVNBa)N Alloys // J. Nano- Electron. Phys. – 2015. Vol.7. – № 3. – P. 03044-1-03044-6.
6. A.D. Pogrebnjak, I.V. Yakushchenko, O.V. Bondar, O.V. Sobol, V.M. Beresnev, K. Oyoshi, H. Amekura, Y. Takeda The microstructure of a multielement nanostructured (TiZrHfVNBa)N coating and its resistance to irradiation with Au– ions // Tech. Phys. Lett. 2015. Vol. 41, № 11. – P. 1054-1057.
7. A. D.Pogrebnjak, I.V.Yakushenko, O. V.Bondar, O. V.Sobol, V. M.Beresnev, K. Oyoshi, H. Amekura, Y. Takeda Influence of Implantation of Au– Ions on the Microstructure and Mechanical Proper-



- ties of the Nanostructured Multielement (TiZrHf VNbTa)N Coating // Phys. Solid. State. – 2015. Vol. 57, № 8. – P. 1559-1564.
8. Lewis, D. B.; Luo, Q.; Hovsepian, P. Eh.; Münz, W.-D. Interrelationship between Atomic Species, Bias Voltage, Texture and Microstructure of Nano-Scale Multilayers. Surf. Coat. Technol. 2004, 184 (2–3), 225-232. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2003.11.005>.
  9. Wang, F.; Holec, D.; Odén, M.; Mücklich, F.; Abrikosov, I. A.; Tasnádi, F. Systematic Ab Initio Investigation of the Elastic Modulus in Quaternary Transition Metal Nitride Alloys and Their Coherent Multilayers. Acta Mater. 2017, 127, 124-132. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2017.01.017>.
  10. C.K. Chung, H.C. Chang, S.C. Chang, M.W. Liao, C.C. Lai, Journal of Alloys and Compounds 537 (2012). – P. 318-322.
  11. Yajuan Zhang\*, Yingze Yang, Yuhao Zhai, Pingyu Zhang, Applied Surface Science 258 (2012). – P. 6897-6901.
  12. Panin V.E.; Korotaev A.D.; Makarov P.V.; Kuznetsov V.M.; Physical mesomechanics of materials. Russ. Phys. J. – 1998. – 41, 856-884.
  13. A.D. Pogrebnjak, Ch. Kong, R.F. Webster, R.D. Tilley, Y. Takeda, K. Oyoshi, O.V. Bondar, V.V. Buranich, S.V. Konstantinov, L.S. Baimoldanova, M. Opielak, P. Zukowski, P. Konarski. Antibacterial effect of Au implantation in ductile nanocomposite multilayer (TiAlSiY)N/CrN coatings // ACS Applied Materials & Interfaces. – 2019.11. – P. 48540-48550.

Қабылданды 10.04.2020

---

МРНТИ 55.01.91

**А.М. Балғынова**

Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова, г. Актобе

#### **ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА РАБОТЫ РОТОРНОЙ ЦЕНТРИФУГИ**

*В статье приведен сравнительный анализ технических возможностей известного оборудования, применяемого для разделения на фракции жидких органических материалов с физико-механическими характеристиками, сходными с параметрами пивной дробины. Подтверждена возможность отделения влажного компонента дробины в поле центробежных сил инерции.*

*На основании исследований для достижения устойчивого режима функционирования центрифуги предложена новая конструкция центрифуги.*

*Мақалада сыра бөлшектерінің параметрлеріне ұқсас физикалық-механикалық сипаттамалары бар сұйық органикалық материалдардың фракцияларына бөлу үшін қолданылатын белгілі жабдықтың техникалық мүмкіндіктеріне салыстырмалы талдау келтірілген, инерцияның ортадан тәпкіш күштері өрісінде бөртпенің ылғалды компонентін бөлу мүмкіндігін растайды.*

*Зерттеу негізінде центрифуганың тұрақты жұмыс істеу режиміне қол жеткізу үшін центрифуганың жаңа конструкциясы ұсынылды.*

*The article presents a comparative analysis of the technical capabilities of the known equipment used for the separation into fractions of liquid organic materials with physical and mechanical characteristics similar to the parameters of the beer pellet, confirm the possibility of separating the wet component of the pellet in the field of centrifugal forces of inertia.*

*Based on the studies to achieve a steady state of operation of the centrifuge a new design of the centrifuge.*

**Ключевые слова:** центрифуга, барабан, цилиндр, винтовые лопасти, регулятор длины, тяга, держатель, хвостовик, лопасть.

В настоящее время для разделения органических суспензий на жидкую и твёрдую фракции находят практическое применение преимущественно фильтрующие центрифуги двух типов: с вращающимся и неподвижным перфорированным рабочим органом.

Анализ существующих конструкций машин для центробежного разделения жидких органических материалов и теоретических работ, посвящённых проблеме исследования их рабочих процессов, оценка технологических особенностей разработанных технических решений показали следующее.

При работе центрифуг с вращающимся фильтрующим барабаном возникает проблема съёма твёрдой (обезвоженной) фракции с рабочей поверхности барабана и очистки фильтрующих отверстий от застрявших в них частиц твёрдого компонента. Применение скребков для принудительной очистки барабана от твёрдых компонентов вызывает усиленный износ рабочей поверхности барабана, способствует забиванию фильтрующих отверстий, требует повышенных энергозатрат на привод барабана.

Применение вибрационного воздействия в виде осевых колебаний на вращающийся рабочий орган усложняет конструкцию центрифуги, приводит к возникновению динамических нагрузок в приводных механизмах, существенно повышает удельную энергоёмкость рабочего процесса из-за дополнительных затрат энергии на обеспечение вибрационного съёма осадка, затрудняет процесс прохождения сквозь отверстия барабана жидкого компонента при наличии осадочного слоя в условиях переменной по величине и направлению относительной скорости материала к разделяющей поверхности.

Центрифуги второго типа – роторные центрифуги выгодно отличаются простотой конструкции, меньшей энергоёмкостью процесса, большей способностью к обезвоживанию жидких органических материалов при исходной влажности  $W^{ИСК} = 89...95\%$ . Следует отметить, что роторная центрифуга типа СВД (разработка ВНИИКОМЖ, Россия) включена в перечень машин, рекомендованных к широкому применению для разделения на фракции жидких органических отходов животноводства [1]. Очевидно, это обусловлено достоинствами данной машины, а именно: непрерывностью процесса разделения при постоянной самоочистке фильтрующих отверстий; универсальностью при работе с исходными материалами, отличающимися физико-механическими свойствами; незначительными затратами по техническому обслуживанию; невысокой стоимостью, доступной для широкого применения в хозяйствах со средним уровнем доходности.

Однако роторные центрифуги при работе более чувствительны к колебаниям влажности исходного материала, обеспечивают рабочий процесс при достаточно малом зазоре между лопастями ротора и разделяющей поверхностью 1...3 мм [2, 3]. Наличие осадочного слоя на разделяющей поверхности центрифуги затрудняет вывод жидкой фракции из рабочей камеры, в частности при работе на повышенных кинематических режимах, допустимых при согласовании динамических напоров в магистрали подачи исходного материала и рабочей камере центрифуги.

Осуществление пульсации избыточного давления в рабочей камере роторной центрифуги, с одной стороны, способствует съёму с разделяющей поверхности осадочного слоя, но с другой стороны, способствует нежелательному заклиниванию в круглых фильтрующих отверстиях мелких частиц твёрдого компонента осадочного слоя. Кроме того, при работе пульсатора в зоне поступления исходного жидкого материала в фазе формирования осадочного слоя создаются нежелательно благоприятные условия для прохода мелких твёрдых частиц сквозь фильтрующие отверстия вместе с жидким компонентом, что снижает способность рабочего органа к отделению жидкой фазы. В то же время в зоне образования обезвоженной твёрдой фракции пульсации давления в рабочей камере центрифуги препятствуют прохождению через отверстия остаточной влаги, что требует применения дополнительного прессующего устройства для высокоэнергетического процесса отжима обезвоженного материала. Из-за высокой стоимости и низкой производительности центрифуги зарубежного образца не находят применения в Казахстане, странах СНГ.

Сопоставление показателей табл. 1 [4] указывает на то, что поперечный размер рабочих отверстий известных фильтрующих центрифуг в интервале 0,25...1,2 мм не оказывает ярко выраженного существенного влияния на процесс вывода жидкого компонента из-за наличия на разделяющей поверхности осадочного слоя частиц твёрдого компонента, частично перекрывающего фильтрующие отверстия для осуществления фильтрации жидкой фракции.

В целом сравнительный анализ технических возможностей известного оборудования, применяемого для разделения на фракции жидких органических материалов с физико-механическими характеристиками, сходными с параметрами пивной дробины (жидкий навоз, птичий помёт и т.п.) подтверждает возможность отделения влажного компонента дробины в поле центробежных сил инерции.

На основании исследований, проведенных Савиным В.Д., Шрамковым В.М., Магомедовым Ф.М., Кереевым К.М. (ВНИИКОМЖ), Гридневым П.И. (ВНИИМЖ), Ковалёвым А.А., Орловым И.Г. (ВИЭСХ Россия) доказано, что процесс центробежного разделения жидких органических суспензий наиболее интенсивно происходит в роторных центрифугах с неподвижным фильтрующим рабочим органом, при этом исходный материал обезвоживается с получением твёрдой фракции влажностью не ниже 72...75 %, что достаточно для последующей утилизации твёрдой фракции методом компостирования, но недостаточно для получения обезвоженной кормовой дробины, питательная ценность которой резко возрастает с уменьшением влажности дробины.

Вращение материала в рабочей камере центрифуги под действием лопастного ротора возможно при подаче в камеру исходного материала в количестве, обеспечивающем равномерное заполнение камеры по длине центрифуги.

При недостаточной подаче часть исходного материала стекает вниз по поверхности ротора и попадает без обезвоживания в выводной патрубок жидкой фракции. Другая часть, увлекаемая ротором, подвергается обезвоживанию с накоплением частиц твёрдого компонента в кольцевом зазоре рабочей камеры центрифуги, что может вызвать заклинивание ротора из-за «затирания» обезвоженного материала в камере центрифуги.

При избыточной подаче материал не успевает обезвожиться в полной мере, что приводит к образованию твёрдой фракции повышенной влажности, непригодной для употребления в качестве кормовой добавки к рациону кормления сельскохозяйственных животных. При подаче исходного материала без учета пропускной способности фильтрующих отверстий цилиндра и степени заполнения рабочей камеры центрифуги обрабатываемым материалом рабочий процесс роторной центрифуги крайне неустойчив.

Для достижения устойчивого режима функционирования центрифуги необходимо обеспечить подачу исходного материала под давлением, соответствующим гидродинамическому сопротивлению потока материала, заполняющего рабочую камеру центрифуги, в количестве, соответствующем технологическим возможностям центрифуги при выбранном кинематическом режиме работы (показатель  $K$ ).

Для этого предложена конструкция центрифуги [5, 6], которая содержит неподвижный горизонтальный цилиндр 1 с перфорированными отверстиями 2 в его стенке на рабочем участке, торцевую стенку 3, скрепленную с цилиндром 1 в зоне подачи исходной массы, ротор в виде приводного вала 4 с вытянутыми вдоль его оси винтовыми лопастями 5, установленный с зазором внутри цилиндра 1 с образованием кольцевой рабочей полости, ограниченной торцевой стенкой 3, внутренней поверхностью цилиндра 1 и внешней поверхностью вала 4 (рис. 1).

В торцевую стенку 3 вмонтирован подающий патрубок 6 с размещением выходного отверстия в зазоре между ротором и цилиндром 1 для ввода исходной массы в его рабочую полость; вокруг цилиндра 1 расположен огибающий его кожух 7 с патрубком 8 для вывода жидкой фракции, расположенным под цилиндром 1, и патрубком 9 для отвода обезвоженной твердой фракции, расположенным за пределами цилиндра 1 у выгрузного торца.

Устройство содержит регулятор длины рабочего участка цилиндра 1, выполненный в виде охватывающей цилиндр 1 снаружи гибкой цилиндрической оболочки 10 с неподвижным концом 11, закрепленным на цилиндре у торцевой стенки 3 (например, хомутом или с помощью прижимных винтов и т.п.) и подвижным концом 12, вывернутым наружу и соединенным с тягами 13, проходящими сквозь отверстия 14 в стенке кожуха 7 и закрепленными на держателе 15 (диск со ступицей или кольцо с крестовиной и ступицей и т.п.), установленном снаружи цилиндра 1 перед торцевой стенкой 3 с возможностью перемещения в ту или иную сторону вдоль оси цилиндра 1 с фиксацией в заданном положении с помощью стопорного винта 16, фиксирующего держатель 15 относительно торцевой стенки 3, на которой для этого выполнен цилиндрический хвостовик 17 с подшипниковым узлом закрепления приводного вала 4 внутри и держателем 15 снаружи.

Кроме того, винтовая лопасть 5 со стороны поступления исходной массы выполнена с наклонной передней кромки 18 под острым углом к оси вращения ротора.

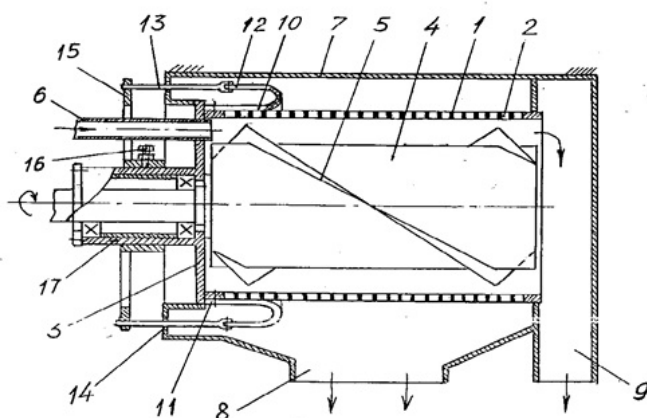


Рисунок 1 – Предлагаемая конструкция центрифуги для разделения жидких органических материалов на фракции (Пред. патент №17351 РК)[5]: 1 – горизонтальный цилиндр; 2 – перфорированные отверстия; 3 – торцевая стенка; 4 – приводной вал; 5 – винтовые лопасти; 6 – подающий патрубок; 7 – кожух; 8 – патрубок для вывода жидкой фракции; 9 – патрубок для отвода обезвоженной твердой фракции; 10 – гибкая цилиндрическая оболочка; 11 – неподвижный конец регулятора длины рабочего участка цилиндра; 12 – подвижный конец регулятора длины рабочего участка цилиндра; 13 – тяга; 14 – отверстия; 15 – держатель; 16 – стопорный винт; 17 – цилиндрический хвостовик; 18 – передняя кромка лопасти

Технологический процесс разделения исходного материала на жидкую и твердую фракции на предлагаемом устройстве (пред. патент №17351 РК) осуществляется следующим образом.

Перемещением держателя 15 с фиксацией его на хвостовике 17 в нужном положении стопорным винтом 16 под действием тяг 13, перемещающихся в отверстиях 14 стенки кожуха 7, подвижный конец 12 гибкой оболочки 10 смещается вдоль оси цилиндра 1 до положения, соответствующего средней ширине участка оболочки 10, охватывающей внешнюю перфорированную поверхность цилиндра 1.

Ротор приводится во вращение, после чего из патрубка 6 исходная масса через его выходное отверстие принудительно (насосом) подается в рабочую зону цилиндра 1. Под действием вращения лопастей 5 материал, благодаря наклону передней кромки 18, плавно вовлекается во вращательное движение относительно цилиндра 1 и прижимается по инерции к внутренней поверхности перфорированного цилиндра 1, при этом материал совершает одновременно и поступательное движение вдоль оси ротора, равномерно заполняя рабочую камеру цилиндра 1.

Жидкая фракция под действием центробежных сил инерции проходит сквозь отверстия 2 цилиндра 1 и через патрубок 8 выводится из рабочей зоны цилиндра 1 наружу. Перемещаясь вдоль оси ротора, оставшийся материал обезвоживается с образованием твердой фракции, которая через открытый выгрузной торец цилиндра 1 выходит из кольцевой рабочей зоны цилиндра 1 и выгружается через патрубок 9.

При поступлении в устройство исходного материала со сниженной влажностью, что требует для его сепарации использования меньшей по площади перфорированной поверхности цилиндра 1, держатель 15 перемещается ближе к торцевой стенке 3, при этом под действием тяг 13 подвижный конец 12 гибкой оболочки 10 перемещается вдоль поверхности цилиндра 1, что увеличивает ширину рабочего участка оболочки 10 и, соответственно, уменьшает длину рабочего участка перфорированной поверхности цилиндра 1.

При поступлении в устройство исходного материала с повышенной влажностью, что требует для его сепарации использования большей по площади перфорированной поверхности цилиндра 1, держатель 15 смещается в сторону удаления от торцевой стенки 3, при этом тяги 13, выворачивая оболочку 10 в большей степени, перемещают ее подвижный конец 12 вдоль поверхности цилиндра 1 в сторону уменьшения ширины рабочего участка оболочки 10, что, соответственно, увеличивает длину рабочего участка перфорированной поверхности цилиндра 1.

## Список литературы

1. Нормы технологического проектирования систем удаления и подготовки к использованию навоза: НТП17 – 99. – М., 1999. – С. 29.
2. Леонтьев П.И., Федоренко И.Я. Вибрационные машины и процессы в животноводстве: Учебное пособие. – Барнаул, 1987. – 86 стр.
3. Кереев К.М., Стяжкин В.И. Результаты экспериментальных исследований рабочего процесса центрифуги для обезвоживания птичьего помета: труды ГНУВНИИМЖ. – Подольск, 2002. – Т. 11. – Ч. 2.
4. Балгынова А.М., Мерекекызы А. Основные тенденции и технический уровень разработок по центробежному обезвоживанию жидких органических материалов // Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. – Усть-Каменогорск, 2020. – № 2.
5. Балгынова А.М. Условие работоспособности центрифуги для разделения пивной дробины на фракции // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – Алматы, 2004. – № 5. – С. 71-73.
6. Предпатент 1735 РК. Устройство для разделения жидких органических материалов на фракции / Балгынова А.М., Айталиев Е.С., Кереев К.М., Мерекекызы А.; опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5. – 4 с: ил.

Получено 10.04.2020

---

МРНТИ 55.01.83

**А.М. Балгынова, А. Мерекекызы**

Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова, г. Актюбе

**ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ТЕХНИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ РАЗРАБОТОК ПО ЦЕНТРОБЕЖНОМУ  
ОБЕЗВОЖИВАНИЮ ЖИДКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

*В статье приведены анализ существующих конструкций машин для центробежного разделения жидких органических материалов и теоретических работ, посвящённых проблеме исследования их рабочих процессов, оценка технологических особенностей рассмотренных центрифуг.*

*Мақалада сұйық органикалық материалдарды ортадан тепкіш бөлуге арналған машиналар конструкцияларының және олардың жұмыс процестерін зерттеу мәселелеріне арналған теориялық жұмыстардың талдауы қарастырылған, центрифугалардың технологиялық ерекшеліктерін бағалау келтірілген.*

*The article presents the analysis of existing designs of machines for centrifugal separation of liquid organic materials and theoretical works devoted to the study of their working processes, evaluation of technological features of the considered centrifuges.*

**Ключевые слова:** центрифуга, осадительные и фильтрующие центрифуги, разделение, гидросмесь, скребок, лопасть, шнек, ротор, барабан

Специальных высокотехнических средств для обезвоживания жидких органических материалов в нашей стране нет. Создаваемые опытные образцы этих машин находятся в стадии разработки.

Вместе с этим для разделения жидких органических материалов, например биологических отходов животноводства, находят применение различные машины и оборудование либо используемые в других отраслях перерабатывающей промышленности, либо специально созданные для обработки указанных материалов [1].

Отечественный и зарубежный опыт свидетельствует о том, что фильтрующие установки центробежного типа для разделения жидких органических материалов являются более производительными, более простыми по устройству, требуют меньших капитальных и эксплуатационных затрат по сравнению с установками для отжима влажных материалов прессованием [2, 3].

Разделение жидкого органического материала путём принудительного фильтрования его через пористую перегородку, которая задерживает твёрдые частицы и пропускает через себя жидкость, широко применяется в технологических линиях переработки отходов животноводства [4...7].

Фильтрация такого материала центрифугированием почти полностью освобождает его от твёрдых частиц, и это является главным его преимуществом по сравнению с другими способами его разделения.

В странах СНГ и дальнего зарубежья применяются фильтровальные установки различных типов [8...11, 12...15].

На рис. 1 представлена классификационная схема используемых центрифуг для разделения жидких органических материалов на твёрдую и жидкую фракции, отличающихся по конструктивным признакам рабочих органов и типу механического воздействия на исходный материал в процессе его переработки.

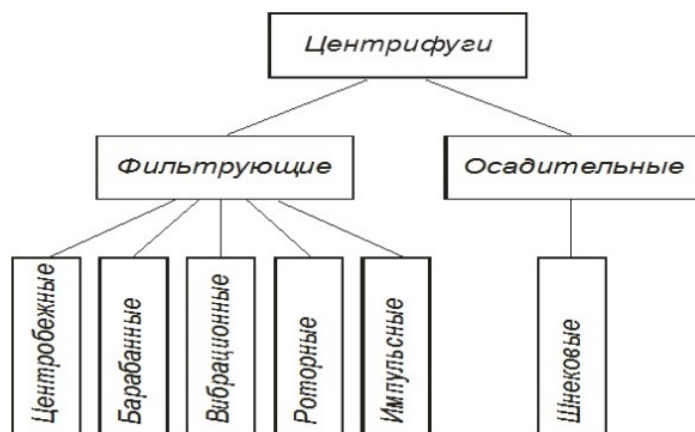


Рисунок 1 – Классификационная схема центрифуг для разделения жидких органических материалов на фракции

По принципу отделения жидкой фракции существующие центрифуги можно разделить на две группы: осадительные и фильтрующие центрифуги.

В осадительных центрифугах [16] разделение материала на две фракции обеспечивается путём вращения исходного материала в коническом барабане, при котором осадочный слой твёрдых частиц, формирующийся на внутренней поверхности конуса под действием центробежных сил, перемещается вдоль образующей конуса шнеком к меньшему основанию конуса. Жидкая фракция, вытесняемая вновь поступающим материалом, движется в противоположном направлении и отводится через отверстия в роторе (рис. 2). Центрифуги этого типа имеют высокую энергоёмкость, сложный привод, требуют высокой квалификации обслуживающего персонала, в связи с этим не находят широкого применения.

Фильтрующие центрифуги характеризуются наличием условий, при которых жидкая фракция отделяется от твёрдой в процессе взаимодействия исходного жидкого материала с перфорированной рабочей поверхностью.

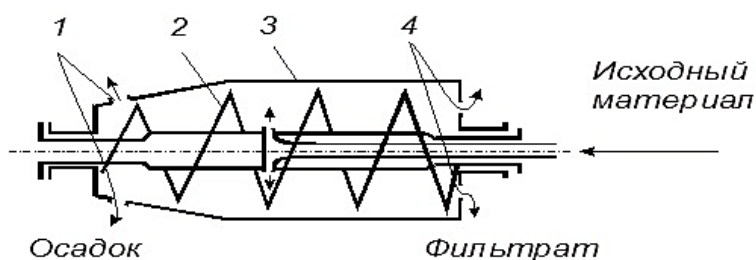


Рисунок 2 – Центрифуга осадительная:  
1 – окна выгрузки осадка; 2 – шнек; 3 – ротор; 4 – окна слива фильтрата



В центробежно-фильтрующем сгустителе исходный материал подаётся через тангенциальный патрубок и далее движется вдоль криволинейного (спиралеобразного) фильтрующего элемента. Жидкая фракция через щели фильтрующего элемента проходит в канал фильтрата и выводится через патрубок. В канале исходной гидросмеси остаётся сгущенная фракция, которая выгружается в центре устройства. Данный сгуститель предназначен для переработки только стоков влажностью 96...98,5 % [17], схема его приведена на рис. 3.

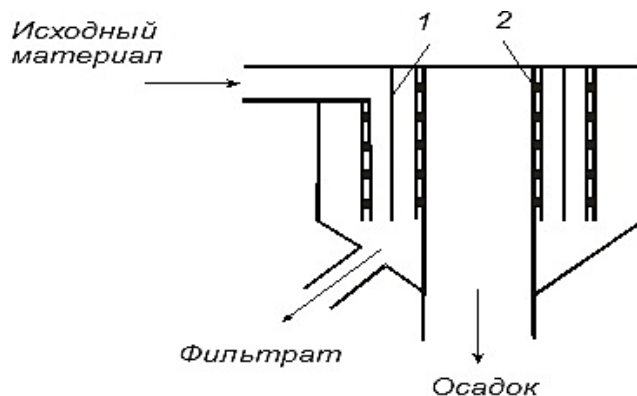


Рисунок 3 – Центробежно-фильтрующий сгуститель: 1 – стенка; 2 – фильтрующий элемент

На рис. 4 представлена принципиальная схема фильтрующей центрифуги с горизонтально вращающимся перфорированным барабаном, в которой жидкий компонент (фильтрат) под действием вращения барабана выводится наружу сквозь отверстия в стенке, а твёрдый компонент снимается с внутренней поверхности барабана неподвижным скребком, направляющим твёрдую фракцию в выгрузной шнековый транспортёр [7]. По данным многих исследователей этот тип центрифуги характеризуется низкой долговечностью рабочих органов, высокой энергоёмкостью процесса разделения материала на фракции, неустойчивым режимом вывода жидкого компонента через отверстия барабана в процессе образования осадочного слоя, препятствующего прохождению через отверстия барабана жидкого компонента [18, 19].

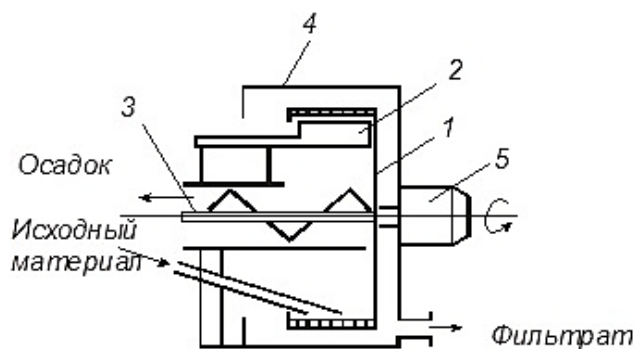


Рисунок 4 – Горизонтальная фильтрующая барабанная центрифуга:  
1 – перфорированный барабан; 2 – скребок; 3 – шнек; 4 – корпус; 5 – привод

В фильтрующей центрифуге с вертикальным коническим барабаном (рис. 5) исходный материал при подаче внутрь барабана увлекается во вращение вокруг вертикальной оси, в результате которого жидкий компонент проходит сквозь отверстия в стенке барабана и с помощью кожуха выводится из рабочей зоны центрифуги в её нижней части; твёрдый обезвоженный компонент под действием скребка, расположенного вдоль продольной образующей конусного барабана смещается в верхнюю часть барабана и выводится наружу в качестве осадка [20].

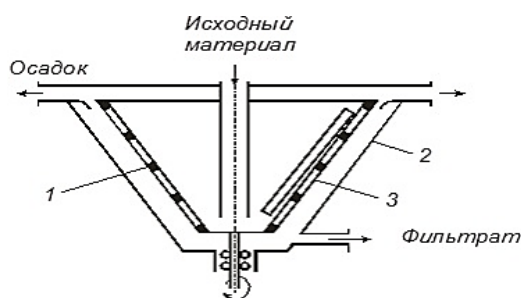


Рисунок 5 – Вертикальная фильтрующая барабанная центрифуга:  
1 – конический барабан; 2 – корпус; 3 – скребки

Как показали приведенные исследования, общим недостатком барабанных фильтрующих центрифуг является забиваемость отверстий барабана мелкими частицами, недостаточная степень очистки отверстий рабочими элементами скребкового типа и, как следствие, низкая эффективность процесса выделения жидкой фракции.

В фильтрующих центрифугах вибрационного типа рабочие органы, обеспечивающие вращение разделяемого жидкого материала, подвергаются воздействию вибрации с целью интенсификации процесса фильтрации жидкого компонента и предотвращения забивания отверстий рабочего органа мелкими частицами осадочного слоя. Схема вибрационной центрифуги, используемой для обезвоживания жидкой пивной дробины, показана на рис. 6.

Рабочий орган центрифуги выполнен в виде перфорированного горизонтального диска с вертикальными перфорированными вогнутыми лопастями, оснащёнными снаружи карманами для улавливания жидкого компонента. При работе центрифуги диск с лопастями приводится во вращение, на которое накладываются вертикальные колебания под действием вибратора. В результате комбинированного воздействия на исходный материал вращательного и колебательного движения происходит разделение материала на две фракции, из которых жидкая фракция проходит через отверстия в диске и лопастях с выводом самотёком в нижней части центрифуги, а твёрдая фракция с поверхности вращающегося диска сбрасывается по инерции в радиальном направлении, попадая в выгрузной лоток [21].

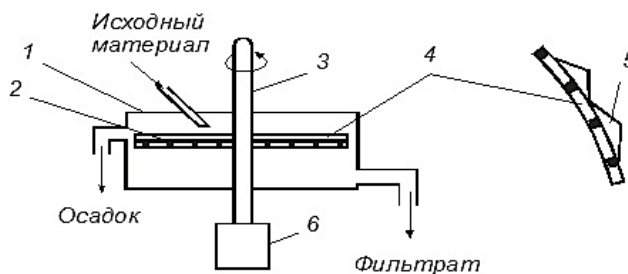


Рисунок 6 – Горизонтальная фильтрующая вибрационная центрифуга: 1 – корпус;  
2 – перфорированный диск; 3 – вал; 4 – лопасть; 5 – карман; 6 – вибратор

В вибрационной центрифуге, схема которой представлена на рис. 7, ротор выполнен в виде перфорированного горизонтального конуса, снабжённого вибратором, генерирующим осевые колебания ротора. Исходный материал под действием вращения конуса и осевых колебаний его стенки разделяется на жидкую фракцию, поступающую сквозь отверстия конуса в кожух с выводным окном, и твёрдую фракцию в виде осадка на внутренней поверхности конуса, которая выводится через выгрузной патрубок. По результатам испытаний такой центрифуги установлено, что, несмотря на комбинированное воздействие рабочего органа на обрабатываемый материал, эффективность рабочего процесса ограничивается возможностью забивания фильтрующих отверстий конуса мелкими твёрдыми частицами соответствующего размера [18].

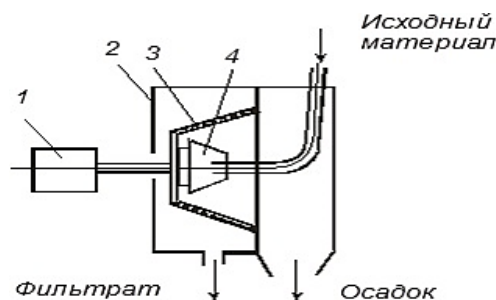


Рисунок 7 – Вертикальная фильтрующая вибрационная центрифуга:  
1 – вибратор; 2 – корпус; 3 – конус; 4 – отбойник

Особый класс образуют центрифуги роторного типа с неподвижным фильтрующим цилиндром, работающим в сочетании с приводным ротором, оснащённым продольными винтовыми лопастями. Схема роторной центрифуги с колосниковым фильтрующим цилиндром (разработка ВНИИКОМЖ, Россия) представлена на рис. 8.

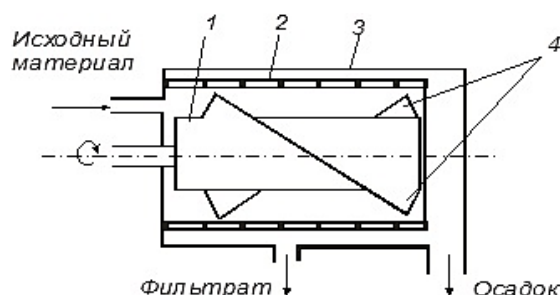


Рисунок 8 – Фильтрующая роторная центрифуга:  
1 – ротор; 2 – фильтрующий цилиндр; 3 – кожух; 4 – лопасти

При подаче в кольцевую рабочую камеру, образованную внутренней поверхностью цилиндра и внешней поверхностью ротора, исходный материал под действием винтовых лопастей приводится во вращение, в процессе которого отфильтрованный жидкий компонент, пройдя сквозь осадочный слой частиц твёрдого компонента и межколосниковые щели цилиндра, стекает по поверхности цилиндра и затем выводится через выпускной патрубок в кожухе, охватывающем цилиндр снаружи. Обезвоживаемый твёрдый компонент под действием лопастей смещается вдоль оси цилиндра и выводится через патрубок, примыкающий к выгрузному торцу цилиндра [22]. В усовершенствованном варианте центрифуги ротор снабжён двумя рабочими участками, на которых лопасти выполнены с разным углом подъёма винтовой линии [23].

Роторные центрифуги отличаются небольшой энергоёмкостью рабочего процесса и простотой обслуживания [24], однако способность к обезвоживанию жидких органических материалов в них ограничена наличием осадочного слоя и возможностью перекрытия отверстий цилиндра жидким компонентом при его стекании по наружной поверхности цилиндра. Кроме того, при накоплении обезвоживаемого осадка в рабочей камере центрифуги возможно заклинивание ротора, что требует применения дополнительных средств по улучшению процесса транспортирования твёрдого компонента в направлении продольной оси цилиндра.

В импульсной центрифуге фирмы «FAN SEPARATOR» (Германия), схема которой представлена на рисунке 9, вывод отфильтрованной жидкой фракции происходит через отверстия неподвижного фильтрующего цилиндра с использованием пульсации избыточного давления, создаваемого в рабочей камере гидравлическим пульсатором. Транспортировка осадка, образуемого на внутренней поверхности цилиндра, производится в осевом направлении шнековым транспортером, который в сочетании с подпрессовочным конусом, установленным на выходе из цилиндра,

осуществляет прессование твёрдого компонента для отжима остаточной влаги. Степень обезвоживания обеспечивается изменением проходного сечения выгрузного окна под действием заслонок, снабженных регулируемым противовесами [25]. К недостаткам такой центрифуги следует отнести сложность конструкции рабочих органов, недостаточную надёжность работы гидравлического пульсатора в условия переменной влажности исходного материала.

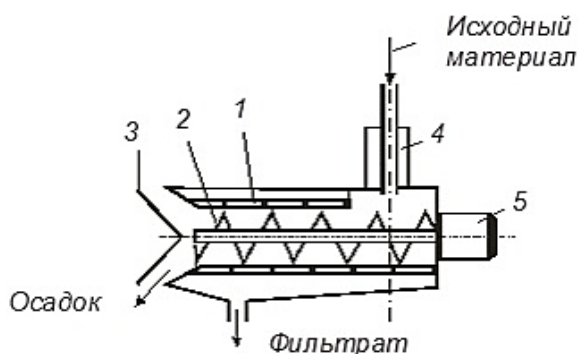


Рисунок 9 – Фильтрующая импульсная центрифуга:  
1 – фильтрующий цилиндр; 2 – шнек; 3 – конус; 4 – пульсатор; 5 – привод

Для сравнения основные показатели рабочего процесса рассмотренных центрифуг сведены в табл. 1, где полнота отделения влажного компонента от обезвоживаемого материала определена по критерию  $E_1$ , характеризующему отношение массы влаги в жидкой фракции к массе влаги в исходном материале [26].

Анализ данных табл. 1 показывает, что наибольшей степенью обезвоживания жидкого органического материала отличаются центрифуги вибрационного типа, обеспечивающие снижение влажности материала при переработке с 90 % до 60 %. Однако процесс вибрационного центробежного обезвоживания энергозатратен ( $\Theta = 2,9 \frac{\kappa B m}{m^3 / ч}$ ) по сравнению с остальными типами центрифуг. Наименее энергозатратны фильтрующие центрифуги центробежного типа, имеющие ограниченное применение при разделении органических стоков влажностью более 98 % с низкой эффективностью ( $E_1 = 0,4$ ).

Таблица 1

Основные показатели рабочего процесса центрифуг для разделения жидких органических материалов на фракции

Тип центрифуги	Поры в фильтрующем элементе		Рабочий процесс, влажность			Производительность $Q$ , $m^3 / ч$	Мощность Привода $N$ , кВт	Удельная энергозатратность $\Theta$ , $\frac{\kappa B m}{m^3 / ч}$	Полнота выделения влаги $E_1$
	Форма	Размеры, мм	Исходный материал, %	Фильтрат, %	Твёрдая фракция, %				
Барабанные	Круглые отверстия	$\varnothing 1,2 \dots \varnothing 1,7$	95	96,4	76	50	30	0,6	0,67
Вибрационные	Щели	0,25 x 4,0	90	93,1	60	3,5	10	2,9	0,77
Роторные	Щели	0,8 x 80	92	93,8	70	50	30	0,6	0,75
Импульсные	Круглые отверстия	$\varnothing 0,2 \dots \varnothing 1,0$	92	94,6	73	20	19	0,95	0,71
Центробежные	Щели	0,2 x 100	98	98,1	92	100	50	0,5	0,4

Наиболее приемлемы для осуществления процесса обезвоживания жидкой пивной дробины влажностью порядка 90% роторные центрифуги, обладающие высокой степенью влагоотделения при низких удельных затратах энергии ( $E_1 = 0,75$ ;  $\Theta = 0,6 \frac{\kappa B m}{m^3 / ч}$ ), высокой эксплуатационной надежностью, по сравнению, например, с барабанными центрифугами, за счет использования неподвижного фильтрующего цилиндра в сочетании с активным роторным рабочим органом для вращения и транспортирования обезвоживаемого материала.

#### Список литературы

1. Орлов И.Г. и другие. Центрифуга для разделения жидкого навоза и помета // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1996. – № 6.
2. Магомедов Ф.М. Разработка и обоснование конструктивно-технологических параметров установки для получения концентрированных органических удобрений из бесподстильного навоза КРС: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1989.
3. Орлов И.Г. Разработка технических средств подготовки навоза в системах получения биогаза: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1998.
4. Современные технологии обработки отходов животноводства и охрана природы / под ред. Ворошилова Ю.М и др.). – М., Высшая школа, 1984. – С. 88.
5. Коваленко В.М. Механизация обработки бесподстильного навоза. – М., Колос, 1984. – 159 с.
6. Лосяков В.П., Резник Е.И. Механизация удаления и переработки навоза // Животноводство. – 1974. – № 7. – С. 84.
7. Лукьяненко И.И. Переработка свиного навоза фильтрованием. Механизация и электрификация сельского хозяйства. – №7. – 1973. – С. 20.
8. Высоцкий А.И., Илясов Г.А. Расчет и конструирование фильтрующих сгустителей и лопастных центрифуг. – Саратов, 1993.
9. Воробьев Е.И., Аникеев Ю.В. Совершенствование фильтрационной техники пищевых производств. – К.: Урожай, 1989. – 136 с.
10. Туровский И.С. Обработки осадков сточных вод. – М., Стройиздат, 1982. – С. 9.
11. Магомедов Ф.М., Павлова М.Ф., Савин В.Д. Современные технические средства для разделения бесподстильного навоза. Обзорная информация. – М.: ЦНИИ ТЭИ тракторсельмаш, 1986.
12. Gullewirtschaft und Gulleitung Prof. Dr. Habit Heinrich Koriath und Kollektiv. – Berlin, Landwirtschaftsverl, 1975. – P. 272.
13. J.C. Yu Evaluation report Fan press – screw separator. Canada – British Columbia Soil Conservation Program, august, 1992.
14. Henly J.H., Carsion A., Rovland M. Erie Mining Co., Patent new method for screening ores in very cite rangl // Mining Engineering, 1967. – № 9. – P. 14.
15. Method of concentrating and deodorising ruminant wastl: Patent USA, №5185087. – 1993.
16. Савин В.Д. и другие. Механизация подготовки к использованию органических отходов ферм и комплексов. – М.: ВНИИТЭИ агропром, 1991. – С. 12.
17. Каледа И.А. Совершенствование процесса разделения на фракции стоков свиноводческих комплексов путем их обработки на гидравлическом центробежно-фильтрующем сгустителе: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Саратов, 1985.
18. Магомедов Ф.М. Разработка и обоснование конструктивно-технологических параметров установки для получения концентрированных органических удобрений из бесподстильного навоза КРС: Дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1989. – С. 40.
19. Орлов И.Г. Разработка технических средств подготовки навоза в системе получения биогаза: Дисс. канд. техн. наук. – М., 1998. – С. 54.
20. Карнаухов И.Е. Исследование фермерской производственной линии навоза с целью совершенствования механических способов производства органических удобрений: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – М., 1972. – С. 28.
21. Дарханов А.И. Разработка и обоснование основных параметров вибрационно-центробежной установки для разделения пивной дробины на жидкую и густую фракции: Дисс. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 1994. – С. 79.
22. Орлов И.Г. и другие Центрифуга: пат. России на изобретение по заявке №95100885/26 (001808) от 20.01.95, Бюл. – №12, 1997.
23. Кереев К.М. и другие Сепаратор для разделения жидкой органической массы на фракции: пат. № 31303 на изобретение по заявке за 2000/0670.01 от 19.06.2000 г.

24. Орлов И.Г. и другие Центрифуга для разделения жидкого навоза и помета // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1996. – № 6.  
25. Проспекты фирмы «FAN Engineering» (1998...2000 гг).  
26. Кереев К.М., Стяжкин В.И. Разработка критерия эффективности процесса сепарации жидкого помета: труды ВНИИМЖ. – Подольск, 2001. – Т. 10. – Ч. 2.

Получено 10.04.2020

MFTAA 44.29.31

**А.С. Барукин<sup>1</sup>, М.Я. Клецель<sup>1</sup>, Д.Ә. Әмірбек<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

<sup>2</sup>Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті, Өскемен қ.

#### **ТҮРЛЕНДІРУШІ ҚОНДЫРҒЫЛАРДЫҢ ДӘСТҮРЛІ ЖӘНЕ ЖАҢА ҚОРҒАНЫСТАРЫНЫҢ ДАЙЫН БОЛМАУ КОЭФФИЦИЕНТТЕРІН ЕСЕПТЕУ**

*Релелік қорғаныс құрылғыларын ток трансформаторларынсыз құрастыру мәселесі өзекті болып табылатындығы, оны түрлендіруші қондырғылар үшін бітеу түйіспелі және магнитті резисторлы қорғаныс көмегімен шешу ұсынылатындығы белгіленген. Бұл қорғаныс үшін шешілмеген маңызды сұрақтардың бірі аппараттық сенімділікті бағалау және оны дәстүрлі қорғаныс сенімділігімен салыстыра отырып талдау жасау болып табылатындығы көрсетілген. Бағалау мақсатында, дайын болмау коэффициенттерінің шамасы анықталатын, логика-ықтималдылықты әдісті пайдалану ұсынылады. Түрлендіруші қондырғылар ажыратқыштарының іске қосылудан істен шығу жиілігін ескерудің дәстүрлі және жаңа қорғаныстардың дайын болмау коэффициенттерінің қосынды мәніне есері қарастырылған.*

*Констатируется, что проблема построения устройств релейной защиты без трансформаторов тока является актуальной, и предлагается её решение для преобразовательных установок с помощью защиты на герконах и магниторезисторе. Отмечено, что одним из ключевых нерешенных вопросов для этой защиты является оценка аппаратной надежности и её сравнительный анализ с надежностью традиционной защиты. Для оценки предлагается использовать логико-вероятностный метод, в котором определяются величины коэффициентов неготовности. Рассмотрено влияние учета частоты отказов выключателя преобразовательной установки на суммарные коэффициенты неготовности её традиционной и новой защит.*

*It is stated that the problem of building relay protection devices without current transformers is relevant, and its solution is proposed for converter plants with the help of protection on reed switches and a magnetoresistor. It is noted that one of the key unresolved issues for this protection is the assessment of hardware reliability and its comparative analysis with the reliability of traditional protection. For evaluation, it is proposed to use a logical-probabilistic method, in which the values of unavailability coefficients are determined. The effect of taking into account the frequency of failures of the converter unit breaker on the total unavailability coefficients of its traditional and new protection is considered.*

**Түйін сөздер:** релелік қорғаныс, бітеу түйіспелер, ток трансформаторы, сенімділік, дайын болмау коэффициенті.

Түрлендіруші қондырғыларды (ТҚ) қысқа тұйықталудан (ҚТ) қорғау үшін дәстүрлі түрде, қарапайымдылығымен, сенімділігімен және аса қымбат еместігімен ерекшелінетін, бірақ кейбір жағдайларда жүктеме токтарынан шеттетілу қажеттілігінен ТҚ-дың аса ауыр зақымдануына (оның толық істен шығуына) дейін әкелуі мүмкін жеткіліксіз сезімталдыққа ие, уақыт ұстанымынсыз максималды тоқтық қорғаныс қолданылады [1]. Ресейде [2], АҚШ-та [3] және Қытайда [4] орындалған зерттемелердегі дифференциалды қорғаныс (ДҚ) барынша сезімтал болуы мүмкін. Қазіргі уақытта АВВ фирмасымен дайындалған ТҚ-дың дифференциалды қорғанысы [5] кең таралған. Дегенмен, онда ([2]-[4] қорғаныстардағы сияқты) металды көп қажет ететін ток трансформаторлары (ТТ) қолданылады. ТТ сондай-ақ баршаға белгілі басқа да кемшіліктерге ие, сол үшін де 2006 жылдан бастап үлкен энергетикалық жүйелер бойынша Халықаралық конференцияларда (CIGRE) релелік қорғаныс құрылғысын ток трансформаторынсыз құрастыру мәселесі әлемдік электр энергетикасының принципалды шешілмеген бірден-бір тапсырмасы



ретінде ерекшелінеді. Бұл тапсырманы шешу бағыттарының бірі магнит өрісіне сезімтал элементтерді пайдалану болып табылады. Сондай-ақ, С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университетінде де, жылдам әрекеттілігі жағынан [5] қорғанысынан кем түспейтін және ол қорғаныстан автоматты түрде реттелетін іске қосылу ұстанымының болуы себепті сезімталдылығы жағынан асып түсетін ТҚ-дың ТТ-сыз, бітеу түйіспелерде және магнит резисторларда орындалған дифференциалды қорғаныс құрылғысы [6] дайындалған. Бірақ айтылған қорғаныстың аппараттық сенімділігіне салыстырмалы талдау әлі жүргізілмеген. Бұл жұмыс осы мәселені шешуге бағытталған.

*Релелік қорғаныс құрылғысы сенімділігінің көрсеткіші*

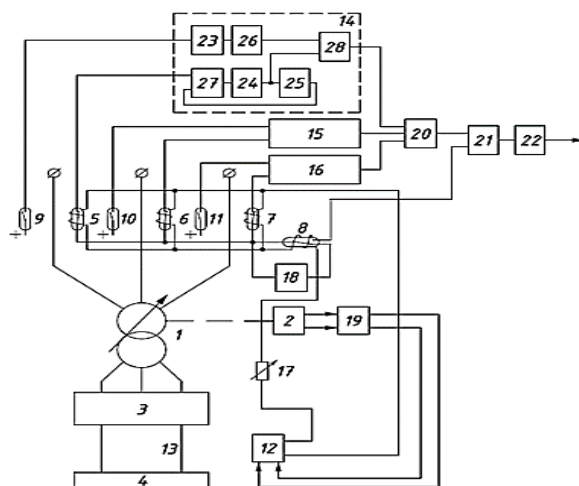
[7-9] әдістемесіне сәйкес, қорғаныс сенімділігінің қосынды көрсеткіштерін анықтау іске қосылуға дайын болмау коэффициентін (іске қосылудан істен шығуды сипаттаушы)  $q_{\Sigma i \text{қ.б.т}}$  және іске қосылмауға дайын болмау коэффициентін (жалған іске қосылуды сипаттаушы)  $q_{\Sigma \text{ж.іқ}}$  анықтауға әкеледі. Қорғанысты құрайтын элементтер тобының дайын болмау коэффициенттерін (ДБК) анықтау үшін ықтималдылықтарды қосу және көбейту теоремасын қолдануға негізделген белгілі [8] әдісті, сондай-ақ барынша қысқа жол ережесін пайдаланамыз. Мұнда  $i$ -ші элементтің ДБК келесідей анықталады:

$$q_i = 1 - p_i, \quad (1)$$

мұндағы  $p_i$  –  $i$ -ші элементтің, оны тағайындалуы бойынша пайдалану қажеттілігі туындаған еркін алынған уақыт мезетінде жұмысқа қабілетті болуының ықтималдылығы;  $p_i$  қарапайым істен шығу ағыны  $\Omega$  жағдайында [7, 8]  $p_i = \exp(-\Omega t)$  экспоненциалды функциясымен есептелінеді; мұндағы  $t$  – релелік қорғаныс құрылғыларын профилактикалық тексерулер арасындағы уақыт интервалы, [10] сәйкес  $t = 1 \div 8$  жыл. Қажет кезінде дайын болмау коэффициенттерін, көптеген елдерде [11] РҚ сенімділігі бағаланатын жай ғана істен шығу жиіліктерімен  $\lambda$ , теңестіруге болатындығын айта кету қажет. Ары қарайғы есептеулерде, қарастырылған әдістемелер мен қорғаныс элементтері және түрлендіруші қондырғылардың мүмкін болатын зақымдануларына талдау жасаудың негізінде бізбен алынған формулалар пайдаланылады.

*Түрлендіруші қондырғылардың бітеу түйіспелер және магнит резисторлар негізіндегі дифференциалды қорғаныстарының дайын болмау коэффициенттерін анықтау.*

Қорғаныс [6] (1-сурет) келесідей элементтерден тұрады: кернеуді реттегіші бар 2 трансформатор 1; жүктемелі 4 түрлендіргіш 3; басқарылатын орамды 5-8 бітеу түйіспелер және 9-11 орамсыз бітеу түйіспелер; 13 ток өткізуші сымдағы, оның магнит өрісінде бекітілген ток өлшейтін 12 блок (магнит резисторлы Уитстон көпірі); трансформатордың 1 магниттелуінің секірмелі тоғынан шеттетілу 14-16 блокторы; реттелетін резистор 17; дабыл блогы 18; қорғаныстың іске қосылу тоғын реттеу блогы 19; 20 НЕМЕСЕ және 21 ЖӘНЕ элементтері; 22 шығыс органы.



1-сурет – ТҚ-ның бітеу түйіспелі және магнит резисторлы дифференциалды қорғаныс құрылғысы

Берілген [8] РҚ элементтерінің істен шығу ағыны бойынша мәліметтерді және жоғарыда келтірілген әдістемені пайдалана отырып, мысал ретінде, УАҚЫТ 23-25, ЕМЕС 26, ЖАДЫ 27, ЖӘНЕ 28 элементтерінен тұратын 14 блоктың ДБК анықтаймыз (уақыт интервалы  $t$  ретінде, ары қарай да, 1 жылды қабылдаймыз):

$$q_{14} = q_{24} + q_{26} + q_{27} + q_{28} = (5 + 1 + 1 + 1) \cdot 10^{-4}. \quad (2)$$

Осыған ұқсас, трансформатор шығысындағы фаза аралық қысқа тұйықталу кезінде және ТҚ түрлендіргіштеріндегі зақымдану кезінде ТҚ қорғанысының элементтер тобының ДБК ( $q_{к,3} = q_{к,2} = q_{к,т} = 9 \cdot 10^{-4}$ ,  $q_{шО} = 8 \cdot 10^{-4}$  шығыс органының ДБК), сондай-ақ ТҚ қорғанысының іске қосылуының қосынды ДБК анықталған:

$$q_{\Sigma \text{іқ.б.т}} = 2 \cdot q_{\Sigma \text{іқ.б.т,3}} + 6 \cdot q_{\Sigma \text{іқ.б.т,2}} + 6 \cdot q_{\Sigma \text{іқ.б.т,т}} = 23,8 \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

$$\text{мұндағы } q_{\Sigma \text{іқ.б.т,3}} = q_{к,3} + q_{шО}; q_{\Sigma \text{іқ.б.т,2}} = q_{к,2} + q_{шО}; q_{\Sigma \text{іқ.б.т,т}} = q_{к,т} + q_{шО} \quad (4)$$

– жоғарыда келтірілген зақымданулар кезіндегі дайын болмау коэффициенттері.

(3) өрнекте бірінші және екінші қосындыдағы 2 және 6 көбейткіштері ТҚ трансформаторының жоғары және төменгі кернеу шығыстарындағы фаза аралық ҚТ кезіндегі қорғаныстың іске қосылудан мүмкін болатын істен шығуларын ескереді. Үшінші қосындыдағы 6 көбейткіші түрлендіргіштегі кез келген диодтың зақымдануы кезіндегі қорғаныстың іске қосылудан мүмкін болатын істен шығуын ескереді. Қорғаныстың іске қосылмауға ДБК:

$$q_{\Sigma \text{ж.іқ}} = q_{к,ж.іқ} = 8,7 \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

мұндағы  $q_{к,ж.іқ}$  – қорғаныстың, зақымданулары олардың жалған іске қосылуына әкелуі мүмкін элементтер тобының ДБК.

*Түрлендіруші қондырғылардың дәстүрлі дифференциалды қорғаныстарының дайын болмау коэффициенттерін анықтау.*

Қорғаныс [5] алты ТТ-дан, үш аралық ток трансформаторынан, үш RET 670 релесінен және бір шығыс аралық реледен тұрады. РҚ элементтерінің істен шығу ағындары бойынша мәліметтерді [8] пайдаланып, зақымданудың әрбір түрі үшін ДБК анықтаймыз:

$$q_{\Sigma \text{іқ.б.т,3}} = (2 \cdot q_{\text{ТТ}} + q_{\text{АТТ}} + q_{\text{RET670}})^3 + q_{шО} = 6 \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

$$q_{\Sigma \text{іқ.б.т,2}} = q_{\Sigma \text{іқ.б.т,т}} = (2 \cdot q_{\text{ТТ}} + q_{\text{АТТ}} + q_{\text{RET670}})^2 + q_{шО} = 6 \cdot 10^{-3}. \quad (7)$$

Қорғаныстың іске қосылуға ДБК қосынды мәні (3) бойынша анықталады және  $q_{\Sigma \text{іқ.б.т}} = 84 \cdot 10^3$  тең, ал іске қосылмауға ДБК қосынды мәні - (5) бойынша, бірақ  $q_{к,ж.іқ} = 8,5 \cdot 10^{-3}$ .

Алынған нәтижелер, екі қорғаныстың да аппараттық сенімділік бойынша заманауи талаптарға сай келетіндігін (егер, олай болмаған жағдайда қорғаныс сенімділігін арттыру үшін еселеу [7] қолданылады) көрсетеді. Алайда, ДБК шамаларын бір-бірімен салыстыру, екі қорғаныстың да жалған іске қосылу ықтималдылығы шамамен бірдей болған уақытта, ТҚ бітеу түйіспелі және магнит резисторлы дифференциалды қорғанысының іске қосылудан істен шығу ықтималдылығының 3,5 есе төмен болатындығын көрсетеді.

Қорғаныстың сенімділік көрсеткіштерін бағалау кезінде, олар әсер ететін ажыратқыштардың істен шығу жиілігін ескеру өте маңызды болып табылады, себебі ажыратқыш ҚТ өшірмейінше, қорғаныс өзіне тағайындалған міндетін орындады деп есептеуге болмайды (қазіргі уақытта дәстүрлі әдістемелерде [7-9] ол ескерілмейді). Осыған байланысты жоғары да қарастырылған екі қорғаныстың қосынды дайын болмау коэффициенттеріне ажыратқыш сенімділігінің әсерін анықтаймыз, сол үшін (4), (6) және (7) өрнектеріне ( $q_{KYAT} + q_{ЖМҚ}$ ) қосындыларын енгіземіз, ал (5)  $-q_{KYAT}$  (мұндағы  $q_{KYAT} = q'_{KYAT} = 1 \cdot 10^{-3}$  және  $q_{ЖМҚ} = 4 \cdot 10^{-3}$  – ажыратқыштың ажырату электр магниті катушкасы мен оның жетекті механизмінің іске қосылуға және іске қосылмауға ДБК). Есептеулер нәтижесі, ажыратқыштардың істен шығу жиілігін ескеру, сәйкесінше ТҚ-ның дәстүрлі дифференциалды қорғанысы үшін және ТҚ-дың бітеу түйіспелі және магнит резисторлы дифференциалды қорғанысы үшін 1,8 және 3,9 есе артатын қорғаныстың іске қосылуға ДБК

қосынды мәніне ең көп әсер ететіндігін, ол кезде іске қосылмауға ДБК қосынды мәні аз ғана – 1,1 есе артатындығын көрсетеді.

Дәстүрлі және жаңа қорғаныстың жалпы тиімділігін салыстыру үшін олардың құнын, габаритін және салмағын есептеуді жүргіземіз. АБВ фирмасы мен ток трансформаторларының Свердлов зауытының (Ресей Федерациясы) каталогты мәліметтері негізінде дәстүрлі қорғаныс элементтерінің, сондай-ақ алты ток трансформаторлары мен ТҚ-ның ток өткізуші сымдарындағы ток шамасы туралы ақпаратты алатын үш аралық ТТ-ның қосынды құны 1740 долларды құрайды; осыған ұқсас бітеу түйіспелі және магнит резисторлы қорғаныстың көрсеткіштері (оларды бекіту құрылымының құнын қоса есептегенде) – 324 доллар. Дәстүрлі қорғаныстың алатын жалпы көлемі келесідей анықталуы мүмкін:

$$V_{\Sigma \text{дәст.}} = 6 \cdot V_{\text{ТТ}} + 3 \cdot V_{\text{АТТ}} + 3 \cdot V_{\text{РЕТ670}} + V_{\text{ШО}} = 6 \cdot 0,008 + 3 \cdot 0,004 + 3 \cdot 0,001 + 0,001 = 0,064 \text{ м}^3, \quad (8)$$

мұндағы  $V_{\text{ТТ}}$ ,  $V_{\text{АТТ}}$ ,  $V_{\text{РЕТ670}}$  және  $V_{\text{ШО}}$  – сәйкесінше, ток трансформаторының, аралық ТТ-ның, РЕТ 670 релесінің және шығыс органының көлемі.

Жоғарыдағы (8) өрнек бойынша анықталған бітеу түйіспелі және магнит резисторлы қорғаныстың алатын жалпы көлемі  $V_{\Sigma \text{біт.түй.}} = 0,003 \text{ м}^3$  құрайды, бұл дәстүрлі қорғаныс қорғанысы үшін қажетті көлемнен 21 есе аз. Дәстүрлі қорғаныстың қосынды салмағы (8) бойынша («V»-ны «m»-мен алмастыру арқылы) анықталады және  $m_{\Sigma \text{дәст.}} = 196 \text{ кг}$  тең; ал жаңа үшін –  $m_{\Sigma \text{біт.түй.}} = 3 \text{ кг}$ .

#### Қорытынды.

1. Бұл жұмыста бізбен алынған өрнектер бойынша есептеулер, түрлендіруші қондырғылардың бітеу түйіспелі және магнит резисторлы дифференциалды қорғаныстарының іске қосылуға дайын болмау коэффициенттерінің қосынды мәні дәстүрлі қорғанысқа қарағанда бірнеше есе төмен, ал іске қосылмауға дайын болмау коэффициенті аз ғана ерекшеленетіндігін көрсетті. Сонымен қатар, бітеу түйіспелі және магнит резисторлы қорғаныс барынша арзан және габариті мен салмағы бойынша бірнеше есе кішкентай.

2. Қорғаныстың аппараттық сенімділігін бағалау кезінде, олар әсер ететін ажыратқыштардың істен шығу жиілігін ескеру қажет. Себебі, оның ескерілмеуі іске қосылуға дайын болмау коэффициенттерінің қосынды мәндерінің бірнеше есе (әсіресе бітеу түйіспелі қорғаныстарда) төмендеуіне әкелуі мүмкін, осыған байланысты ажыратқышты еселеу қажеттілігінің мәселесі туындайды. Есептеу кезіндегі іске қосылмауға дайын болмау коэффициентін ескермеуге болады.

Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің №AP05131351 гранттық жоба аясында орындалды.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник для вузов. – 4-е изд. – М.: Высш. шк., 2006. – 639 с. : ил.
2. Глух Е.М., Зеленов В.Е. Защита полупроводниковых преобразователей. – М.: Энергоиздат, 1982. – 152 с.
3. Pat. 9584007 US. Current source converter differential protection method and relay protection device / Q. Zhang, J. Chen, W. Yan, X. Shi, G. Wang, W. Liu, Q. Shen; опубл. 28.02.2017. – 19 p.
4. Pat. 101764394A CN. Direct current differential protection method of rectification unit / F. Xiaowei, L. Gang, Z. Dong; опубл. 30.06.10. – 5 p.
5. Gajić Z. Practical Experience with Differential Protection for Converter Transformers // Study Committee B5 Colloquium CIGRE. – 2013.
6. Патент на изобретение № 29769 РК. Устройство для дифференциальной защиты преобразовательной установки / Клецель М.Я., Барукин А.С., Кислов А.П. – Опубл. БИ. – 2015. – №4.
7. Федосеев А. М. Релейная защита электроэнергетических систем (защита сетей): Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 520 с., ил.
8. Шалин А. И. Надежность и диагностика релейной защиты энергосистем: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 384 с.
9. Гук Ю.Б. Теория надежности. Введение: Учеб. пособие / Ю.Б. Гук, В.В. Карпов, А.А. Лапидус. – Спб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 171 с.

10. РД 153-34.3-35.613-00. Правила технического обслуживания устройств релейной защиты электрических сетей 0,4-35 кВ. – М.: ОРГРЭС, 2000.
11. Allan R. N. Reliability evaluation of power systems // Springer Science & Business Media, 2013.

Қабылданды 10.04.2020

МРНТИ 004.942

**Е.В. Блинаяева, Г.В. Попова, С.С. Смаилова, В.С. Яковлев**

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

#### **СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ СЕРЫ И ПАРАФИНА ИЗ ОБРАЗЦОВ СЫРОЙ НЕФТИ**

*В статье проводится сравнительный анализ систем акустического моделирования и основных его компонентов. Предложена функциональная структура программного комплекса для проведения компьютерного моделирования акустических процессов.*

*Мақалада акустикалық моделдеу жүйелері мен оның негізгі компоненттерінің салыстырмалы талдауы жүргізіледі. Акустикалық процестерді компьютерлік модельдеу үшін бағдарламалық кешеннің функционалдық құрылымы ұсынылды.*

*The article makes a comparative analysis of acoustic modeling systems and its main components. The functional structure of the program complex for computer modeling of acoustic processes is offered.*

**Ключевые слова:** акустическое моделирование, программное обеспечение для акустического моделирования.

Компьютерное акустическое моделирование, как и обычное классическое, базируется на аналогичных принципах расчета. Однако его отличительной особенностью является возможность учета реальных условий акустики. Так, классический расчет, основанный на физической модели с равномерным распределением в диффузионном поле отражающих и поглощающих поверхностей, не всегда является корректным. Причиной этого выступает тот факт, что изучаемые реальные акустические объекты могут иметь различные физико-химические свойства. Все это приводит к тому, что при использовании классического способа акустического проектирования результаты расчетов могут значительно отличаться от реального состояния объекта [1].

Таким образом, современное акустическое моделирование представляет собой комплексный процесс построения модели конкретного процесса на основе расчета акустических критериев, что дает возможность получить ответ на вопрос, какого рода процессы могут происходить в среде, подвергаемой акустическому воздействию.

В данной статье проведен сравнительный анализ систем акустического моделирования и основных его компонентов. Была собрана и сопоставлена информация о наиболее распространенных программных продуктах.

В настоящее время наиболее популярными из подобных решений для проведения акустического моделирования являются следующие программные продукты:

- COMSOL Multiphysics;
- k-Wave;
- EASE;
- CATT-Acoustic;
- ODEON;
- AIST-3D.

Одной из общих особенностей данного сектора ИТ-решений является тот факт, что все перечисленные программы, согласно классификации программного обеспечения по доступности исходного кода, относятся к проприетарным программным продуктам. Это означает, что все права на их использование, а также базовые принципы реализации основных расчетов можно получить

лишь после приобретения лицензии на их использование либо приобретения абсолютного права собственности.

Тем не менее на официальных сайтах компаний-разработчиков и компаний-дилеров можно найти как базовую информацию, так и получить доступ для скачивания демонстрационной версии.

Модуль Акустика расширяет возможности пакета COMSOL Multiphysics® и предоставляет набор инструментов для моделирования акустических волн и вибраций в громкоговорителях, мобильных устройствах, микрофонах, звукопоглощающих устройствах, датчиках, сонарах и расходах. Вы можете использовать специализированные функции для визуализации акустических полей и построения виртуальных прототипов устройств и компонентов.

Для более подробных исследований можно рассматривать акустику совместно с другими физическими эффектами, в числе которых механика конструкций, пьезоэлектрические явления и гидродинамика. Программный пакет COMSOL® содержит мультифизические связи, позволяющие рассчитывать рабочие характеристики устройств и конструкций в максимально приближенных к реальным условиям.

Модуль Акустика также включает множество специализированных формулировок и материальных моделей, которые можно использовать для узкоспециализированных прикладных задач, например для расчета термических и вязких потерь (т.н. термовязкостная акустика) в миниатюрных преобразователях и мобильных устройствах или пороупругих волн и колебаний на основе уравнений Био. Мультифизический функционал дополнительно расширяется за счет использования нескольких специализированных численных методов, включая метод конечных элементов (МКЭ – FEM), метод граничных элементов (МГЭ – BEM), трассировку лучей (Ray Tracing) и разрывный метод конечных элементов Галеркина (dG-FEM).

Основным «сдерживающим» фактором использования данного программного продукта является высокая стоимость лицензии.

k-Wave – это набор инструментов MATLAB для моделирования временной области акустических волновых полей.

k-Wave – это набор инструментов MATLAB с открытым исходным кодом, предназначенный для имитации временной области распространяющихся акустических волн в 1D, 2D или 3D [2]. Инструментарий обладает широким спектром функциональных возможностей, но в его основе лежит усовершенствованная численная модель, которая может учитывать как линейное, так и нелинейное распространение волн, произвольное распределение параметров разнородного материала и акустическое поглощение в степенном законе.

Численная модель основана на решении трех связанных дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка, которые эквивалентны обобщенной форме уравнения Вестервельта [3]. Уравнения решаются с использованием псевдоспектрального метода в k-пространстве, где пространственные градиенты рассчитываются с использованием схемы колоримации Фурье, а временные градиенты – с использованием конечно-разностной схемы с коррекцией в k-пространстве. Временная схема является точной в пределах линейного распространения волн в однородной среде и без потерь, и значительно уменьшает численную дисперсию в более общем случае.

Степенной закон акустического поглощения учитывается с использованием линейного интегро-дифференциального оператора на основе дробного лапласиана [3]. Полностью согласованный слой с разделенным полем (PML) используется для поглощения волн на краях вычислительной области. Основное преимущество численной модели, используемой в k-Wave, по сравнению с моделями, основанными на схемах с конечной разностью во временной области (FDTD), заключается в том, что для точного моделирования требуется меньше пространственных и временных точек сетки. Это означает, что модели работают быстрее и используют меньше памяти.

Инструментарий k-Wave распространяется владельцами авторских прав на условиях Малой общедоступной лицензии GNU (LGPL), которая представляет собой набор дополнительных разрешений, добавляемых к Стандартной публичной лицензии GNU (GPL).

Дополнительной сложностью использования данного пакета являются необходимость установки на компьютер системы MATLAB и наличие навыков профессионального программирования у клиента.

Программные продукты EASE, CATT-Acoustic, ODEON и AIST-3D базируются на методике трассировки лучей и ориентированы на работу с трехмерной графикой. Однако только CATT-Acoustic и AIST-3D способны учитывать не только траекторию распространения звука, но и его амплитуду. Это позволяет составить более полную акустическую картину с использованием всех переотражений.

Из всех перечисленных, программа EASE считается наиболее продуманной и удобной с точки зрения представления данных. Однако красивая визуализация не подтверждается акустическими расчетами, которые проводятся упрощенно, без учета диффузии.

В продукте ODEON предусмотрены одновременно несколько способов для работы с 3D-моделью. Так, в программе используется гибридный или комбинированный метод отражений, представляющий собой сочетание трех основных акустических методов: трассировки лучей, мнимых источников и диффузных отражений. Каждый из данных алгоритмов применяется последовательно для определения как ранних, так и последующих отражений. Таким образом, данная комбинация позволяет спрогнозировать, какая часть лучей при трассировке будет диффузно рассеиваться, а какая – отражаться зеркально.

По сравнению с такими программами, как EASE и ODEON, акустический симулятор CATT-Acoustic имеет параметрическую модель обработки данных, в которой основные геометрические параметры помещения должны быть набраны вручную в гео-файле с использованием специального языка. Это, с одной стороны, позволяет упростить процесс возможной корректировки параметров в дальнейшем, но, с другой стороны, приводит к дополнительным затратам времени на этапе создания 3D-модели.

В результате проведенного сравнительного анализа напрашивается вывод о необходимости разработки собственных программных продуктов, способных проводить компьютерное моделирование акустических процессов, происходящих в средах с различными физико-химическими свойствами.

В статье А.В. Гладкого, Е.С. Подласова [4] рассматривается проблема автоматизации решения задач подводной акустики, связанных с вычислением акустических полей в неоднородных волноводах, а также описывается программно-алгоритмический комплекс математического моделирования акустических полей с помощью методов нормальных мод, лучевого приближения и параболического уравнения.

Функциональная структура программно-алгоритмического комплекса представлена на рис. 1. Основным компонентом является ядро, которое реализует поддержку механизмов, обеспечивающих работу системы. Такими механизмами являются отправка и обработка сообщений, выполнение встроенных функций и функций, предоставляемых модулями расширения.

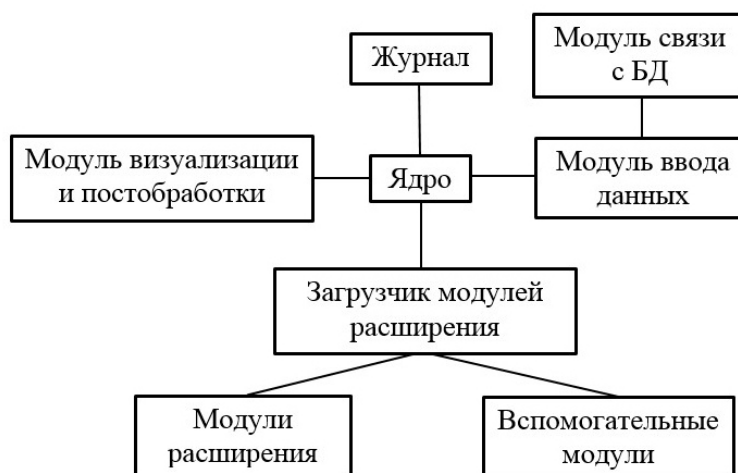


Рисунок 1 – Функциональная структура комплекса



Кроме того, ядро производит первоначальную загрузку и инициализацию комплекса, обеспечивает взаимодействие с операционной системой и реестром Windows, осуществляет выполнение скриптов и предоставляет внешним приложениям интерфейсы автоматизации.

Функциональность комплекса, связанная с процессом решения задач, обеспечивается модулями расширения. Физически каждый модуль расширения представляет собой одну или несколько динамически компокуемых библиотек (DLL), содержащих вычислительные средства модуля, а также файл с расширением .fms, несущий дополнительную информацию, в частности необходимую для генерирования графического пользовательского интерфейса модуля. В состав комплекса также входят вспомогательные модули, предназначенные для проведения промежуточных расчетов. Эти модули используются модулями расширения и не имеют собственного пользовательского интерфейса. Взаимодействие модулей расширения и вспомогательных модулей с ядром комплекса осуществляется с помощью загрузчика модулей расширения.

Остальные программные компоненты предназначены для обеспечения взаимодействия комплекса с пользователем и поддержки дополнительных возможностей. В состав модуля ввода данных входит набор функций и экранных форм с элементами управления, позволяющих пользователю вводить в комплекс информацию о задаче, а также на основании введенной информации автоматически выбирать наиболее подходящую математическую модель. Модуль визуализации и постобработки содержит средства для текстового и графического отображения результатов вычислений в виде таблицы и цветной картины с настраиваемой палитрой и линейным (логарифмическим) масштабом. Средства постобработки позволяют рассчитывать разрезы поля, а также определять зоны обнаружения акустической системы с заданным порогом чувствительности. По результатам вычислительного эксперимента может быть сгенерирован отчет.

Вычислительный эксперимент состоит из следующих этапов: ввод данных о гидрологических условиях и об источнике, выбор математической модели, постановка задачи, решение, визуализация и постобработка.

Данная идея может быть взята за основу разработки собственного программного комплекса, позволяющего проводить компьютерное моделирование инфразвуковых процессов в различных средах.

#### Список литературы

1. Истратова Е.Е., Черний Ю.С., Бирюля С.И. Сравнительный анализ программного обеспечения для акустического моделирования помещений // Творчество и современность. – 2017. – № 2 (3). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-programmnogo-obespecheniya-dlya-akusticheskogo-modelirovaniya-pomescheniy> (дата обращения: 19.05.2020).
2. BE Treeby, J. Jaros, AP Rendell, BT Cox, «Моделирование нелинейного распространения ультразвука в гетерогенных средах со степенным поглощением с использованием псевдоспектрального метода в k-пространстве», J. Acoust. Soc. Am., Vol. 131, нет. 6, с. 4324-4336, 2012.
3. BE Treeby и BT Cox, «Моделирование степенного закона поглощения и дисперсии для распространения звука с использованием дробного лапласиана», J. Acoust. Soc. Am., Vol. 127, нет. 5, с. 2741-2748, 2010.
4. Гладкий А. В., Подласов Е. С. Об автоматизации расчетов акустических полей в неоднородных волноводах // MMC. – 2006. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-avtomatizatsii-raschetov-akusticheskikh-poley-v-neodnorodnyh-volnovodah> (дата обращения: 19.05.2020).

Получено 10.04.2020

МРНТИ 73.31.61

**В.Н. Вдовин**Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск**ЗАДАЧА РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕРМИНАЛОВ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ МЕЛКИХ ПАРТИЙ ГРУЗА**

*При решении задачи размещения терминалов исходными данными должны являться: объемы корреспонденций между отправителями и получателями, расходы на доставку груза транспортом, а также затраты, связанные с переработкой груза на терминалах. В статье рассмотрен метод выбора вариантов размещения терминалов на основе сетевой транспортной задачи с использованием теории графов.*

*Бастапқы деректерді орналастыру мәселелерін шешкен кезде мыналарды алу керек: жіберушілер мен алушылар арасындағы хат-хабарлардың көлемі, тауарларды көлікпен тасымалдау шығындары, сондай-ақ тауарларды терминалдарда өңдеуге байланысты шығындар. Мақалада графикалық теорияны қолдана отырып, желіні тасымалдау мәселесіне негізделген терминалды орналастырудың таңдаулы әдісі қарастырылған.*

*When solving the problem of placing terminals, the source data should be: the volume of correspondence between senders and recipients, the cost of delivery of goods by transport, as well as the costs associated with the processing of goods at the terminals. The article describes a method for choosing terminal placement options based on a network transport problem using graph theory.*

**Ключевые слова.** Терминал, объемы корреспонденций, критерий оптимальности, приведенные затраты, транспортная задача.

Правильный выбор местоположения различных объектов (производственных предприятий, складских помещений, контейнерных площадок, терминалов) в существенной степени определяет эффективность их деятельности. Поэтому определение местоположения объектов представляет собой важную задачу, в том числе и для транспорта.

При полной постановке задачи оптимизации расположения указанных объектов очевидно, что оптимальность получаемых решений не может оцениваться только объемом транспортной работы. Как правило, различные места расположения объектов в значительной степени различаются величиной таких затрат, как расходы на производство, переработку, хранение единицы продукции. Таким образом, в качестве критерия оптимального размещения различных объектов должен использоваться минимум суммы производственных затрат и затрат на перевозку.

Перечисленные выше особенности и условия, присущие задачам определения местоположения объектов, в равной степени относятся и к задаче выбора места размещения и определения количества терминалов по переработке мелких партий груза. На выбор места размещения терминалов в городе и их количество оказывают влияние много факторов, основными из которых являются транспортно-экономические (сокращение пробегов транспорта, величина, структура и направление грузопотоков, методы организации работы) и градостроительные (размеры и планировочная структура города, размещение в нем грузообразующих и грузопоглощающих пунктов).

Очевидно, что сокращение транспортных затрат на перевозку мелких отправок в городе будет более весомым при наличии нескольких терминалов, чего требуют зачастую в крупных городах интересы самого города (ограниченная территория и невозможность дальнейшего развития терминала). При таком подходе каждый терминал обслуживает отдельные промышленные районы и направления и размещается, как правило, на окраинах города вблизи основных внешних магистралей. Основные преимущества такого размещения заключаются в изоляции жилых районов и центра города от внешнего автомобильного транспорта, сокращении пробегов подвижного состава, повышении скорости сообщения, улучшении экологических условий.

Транспортно-экономические и градостроительные требования по размещению терминалов в основном взаимосвязаны и дополняют друг друга. Так, в целях сокращения расстояния перевозки транспортно-экономические условия требуют приближения терминалов к основным пунктам зарождения и поглощения грузопотоков, которые в сложившихся и новых городах выносятся за

пределы селитебной зоны. Требуют выноса терминалов в эти районы и градостроительные условия, так как именно такое размещение способствует разгрузке центра города от внешнего транспорта и уменьшению его вредного воздействия на город и население.

С другой стороны, обеспечение удобных транспортных связей терминала с основными грузообразующими и грузопоглощающими пунктами и последних с внешней магистральной сетью является неотъемлемым требованием обеих групп факторов.

Однако иногда обе группы факторов могут быть и противоречивы. Это возможно при решении вопроса размещения терминалов в сложившихся городах, где промышленность частично переплетается с жилой застройкой. В этом случае при выборе места расположения терминала возникают трудности в сопоставлении этих факторов. Транспортно-экономические показатели могут быть учтены в стоимостном выражении полно, а градостроительные – или совсем могут быть не учтены, или учитываются только частично.

По результатам анализа технико-экономических и градостроительных факторов, влияющих на размещение терминалов в городе, должны быть выявлены общие требования и принципы их размещения, что дает возможность отыскать несколько мест, равноценных по многим условиям. Для определения оптимального местоположения терминалов необходимо проводить технико-экономическое сравнение возможных вариантов размещения.

В данном случае критерием оптимального размещения является минимум суммы затрат, связанных с переработкой груза на терминале и затрат на транспортировку груза. То есть, эти два вида затрат обязательно должны входить в целевую функцию.

Очевидно, что при размещении в плане города терминалов, обеспечивающих взаимодействие магистрального вида транспорта и транспорта, осуществляющего подвоз-развоз грузов, возникает проблема комплексной оптимизации двух стадий перевозочного процесса. Это перевозка мелких отправок от отправителя до терминала, переработка их (разгрузка, складирование, накопление, пакетирование, подгруппировка, загрузка в автопоезда) и доставка магистральным видом транспорта получателю. Комплексная оптимизация должна обеспечить минимум общей суммы расходов по обоим стадиям процесса: как по перевозке груза на обоих этапах, так и по переработке этого груза на терминале. При этом исходными данными должны являться корреспонденции грузопотоков мелких отправок.

Исходными данными для решения задачи размещения терминалов являются:

- объемы корреспонденций  $f_{ij}$  между  $F_R$ -ми отправителями и получателями ( $R = 1, 2, 3, \dots, t$ );
- затраты на доставку груза магистральным видом транспорта и транспорта, осуществляющего подвоз-развоз мелких отправок, и затраты, связанные с переработкой отправок на терминалах.

Заданные объемы корреспонденций  $f_{ij}$  могут быть представлены в табличном виде, где  $i$  и  $j$  - индексы терминалов, соответственно, отправления и назначения грузов (каждый терминал может являться одновременно пунктом отправления –  $F_i \in F_R$  и пунктом назначения –  $F_j \in F_R$ ).

Таблица 1

Матрица корреспонденций грузопотоков

$P_i V_j$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	...	$F_{t(ij)}$	$\Sigma f_{ij} = P_i$
$F_1$	-	$f_{12}$	$f_{13}$	...	$f_{1j}$	$P_1$
$F_2$	$f_{21}$	-	$f_{23}$	...	$f_{2j}$	$P_2$
$F_3$	$f_{31}$	$f_{32}$	-	...	$f_{3j}$	$P_3$
...	...	...	...	-	...	...
$F_{t(ij)}$	$f_{i1}$	$f_{i2}$	$f_{i3}$	...	-	$P_t$
$\Sigma f_{ij} = V_j$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	...	$V_t$	$\Sigma_i P_i = \Sigma_j V_j$

Обязательным условием является следующее:

$$\Sigma_{ij} f_{ij} = \Sigma_i P_i = \Sigma_j V_j. \quad (1)$$

Доставка грузов в объеме  $\sum_{ij} f_{ij} = \sum_i P_i = \sum_j V_j$  обеспечивает выполнение запланированного объема перевозок грузов. Между всеми рассматриваемыми возможными пунктами размещения существуют связи по автомобильным дорогам. При этом значениям расстояний перевозки, тем или иным видом транспорта соответствуют определенные затраты, вызываемые доставкой единицы груза.

При обосновании перспективного развития сети терминалов следует учитывать, что распыленность терминалов по переработке мелких отправок повлечет за собой значительные капиталовложения, увеличение сроков доставки грузов и увеличение затрат на ее выполнение.

Концентрация переработки мелких отправок на меньшем числе крупных терминалов может обеспечить улучшение использования транспортных средств и погрузочно-разгрузочных механизмов, снизить простои подвижного состава. Однако одновременно с этим может произойти увеличение затрат на подвоз-развоз грузов.

При оценке различных вариантов развития сети терминалов за основу принимаются следующие методологические положения:

- наиболее комплексным и объективным критерием оптимальности варианта перевозки, выполняемой одним или несколькими видами транспорта, является минимум приведенных затрат;
- при повариантных расчетах достаточно учитывать затраты в части, меняющейся в зависимости от варианта перевозки;
- приведенные затраты на перевозку транспортом определяются только в части расходов, зависящих от расстояния перевозки, с целью выявления влияния их направления и дальности на величину эксплуатационных расходов и капитальных вложений.

Затраты на перевозку магистральным видом транспорта можно определить по следующей формуле:

$$C_m = \frac{L}{q\gamma} (Q D q \gamma \beta V_T + 2bS) + \frac{S}{q\gamma D N_{об}} \times (N_a + N_{пп}) + Z_a + \frac{K_a \times L}{D q \gamma \beta V_T} \quad (2)$$

где  $L$  – расстояние перевозки груза, км;  $b$  – коэффициент для определенного типа автопоезда;  $S$  – коэффициент неравномерности грузопотока на данном направлении;  $D$  – количество рабочих дней в году;  $N_a$  – накладные расходы на линейный тягач, тг/год;  $N_{пп}$  – накладные расходы на один полуприцеп, тг/год;  $Z_a$  – заработная плата водителей за перевозку одной тонны груза, тг/т;  $N_{об}$  – количество оборотов линейного автопоезда на данном направлении за сутки;  $K_a$  – стоимость автопоезда, тг;  $Q$  – годовой объем перевозок, т.

Затраты по подвозу-развозу грузов можно разделить на два вида работ: подвоз-развоз отправок массой менее 5 т; подвоз-развоз партий груза массой более 5 т.

Необходимо учитывать, что параметры системы подвоза-развоза определяются наиболее загруженным направлением, затраты можно определить по следующей формуле:

$$Z_{пр} = 2l_{пр} (Z_1 \delta \varphi \frac{1}{q_M} + Z_2 (1 - \varphi) \frac{1}{q_M} + \frac{K_a \times L}{D q \gamma \beta V_T}) \quad (3)$$

где  $Z_1$  – суммарные затраты на 1 км пробега для автомобиля грузоподъемностью до 5 тонн;  $Z_2$  – суммарные затраты на километр пробега для автомобиля грузоподъемностью 8-10 тонн;  $\delta$  – доля отправок массой менее 5 тонн в общем объеме отправок;  $q_M$  – средняя масса мелкой отправки, тонн;  $\varphi$  – доля отправок массой более 5 тонн в общем объеме перевозок;  $l_{пр}$  – среднее расстояние подвоза-развоза, км.

В зависимости от величины потока отправок, перерабатываемых на терминале, приведенные расходы на переработку одной тонны груза приближенно можно описать следующей функциональной зависимостью:

$$\varphi(Q) = 0,23 + \frac{536}{Q}, \quad (4)$$

где  $\varphi(Q)$  – приведенные расходы переработки одной тонны груза, тг/т;  $Q$  – среднесуточное количество груза, перерабатываемое на терминале, т.

Очевидно, что критерием оптимизации будет являться сумма перечисленных выше затрат. Сведение этой суммы к минимуму будет свидетельствовать о полном достижении цели оптимизации. В связи с тем, что при оптимизации учитываются не только транспортные расходы, но и расходы, связанные с переработкой груза, эта задача относится к типу «производственно-транспортных» (если терминалы условно принять за производственные мощности).

В такой постановке задача принадлежит к многофакторным типично экстремальным задачам планирования перевозок. Кроме того, задача обоснования развития сети терминалов имеет нелинейную функцию затрат на переработку мелких партий груза на терминале в зависимости от величины грузооборота, перерабатываемого на каждом из этих терминалов.

Кроме «производственно-транспортного» характера и нелинейности функции затрат на переработку мелких отправок задача определения рационального варианта размещения терминалов имеет еще одну особенность, отличающую ее от классической «транспортной задачи», – она является «многопродуктовой». Это обосновано одним из ее условий: грузы должны быть доставлены от конкретных отправителей конкретным получателям в заданных объемах при оптимальном варианте доставки.

Из всех вариантов доставки запланированного объема отправок  $Q = \sum_i^m \sum_j^n f_{ij}$  оптимальным является тот, который имеет минимум приведенных затрат  $\Theta$ , учитываемых на всем пути транспортировки, изменяющихся от условий перевозки:

$$\Theta = \sum_i^m \sum_R^p f_{iR} \Theta_{iR} + \sum_j^n \sum_R^p \Theta_R(Q_R) + \sum_j^n \sum_R^p f_{Rj} \Theta_{Rj}. \quad (5)$$

здесь  $\Theta_{iR}$  – удельные приведенные затраты на доставку отправок автомобилями, осуществляющими подвоз-развоз;  $\Theta_{Rj}$  – удельные приведенные затраты на доставку груза магистральным видом транспорта;  $\Theta_R(Q_R)$  – удельные приведенные затраты, связанные с переработкой мелких отправок на R-м терминале.

Задача оптимального размещения терминалов на сети автомобильных дорог заключается в том, чтобы найти такие значения  $\Theta_{Rj}, \Theta_{Rj}, \Theta_R(Q_R)$ , которые бы привели функционал (5) к минимуму.

В данном случае системой управления является сеть терминалов, их размещение на сети дорог и техническое оснащение (мощность). К параметрам управления относятся затраты  $\Theta_{Rj}, \Theta_{Rj}, \Theta_R(Q_R)$ , изменяющиеся при различных вариантах сети терминалов.

Удельные приведенные затраты, вызываемые доставкой отправок магистральным транспортом и автомобилями, осуществляющими подвоз-развоз, являются функциями расстояний этих перевозок:  $\Theta_{iR} = f(l_{iR})$ ,  $\Theta_{Ri} = f(l_{Ri})$ .

Задачу выбора оптимального плана перевозок мелких партий груза и обоснование варианта размещения терминалов можно реализовать в терминах сетевой транспортной задачи с использованием теории графов.

На схеме дорог, которая рассматривается как транспортная сеть, существует  $F_R$  ( $R = 1, 2, 5, \dots, t$ ) вершин, соответствующих пунктам, где существуют на период исследования или возможно размещение терминалов.

Для возможности расчета затрат на выполнение операций по переработке мелких отправок, каждой из  $F_i$  вершин ставится в соответствие еще по одной вершине (для  $F_1 - F_1'$ ;  $F_2 - F_2'$  и т.д.), то есть на сети вводятся фиктивные связи или дуги  $S_{F_1F_1'}$ ;  $S_{F_2F_2'}$ .

Так как перевозки по заданным участкам сети возможны в обоих направлениях, то сеть принимает вид симметричного графа. Характеристики  $\Theta_1^{nep}$ ;  $\Theta_2^{nep}$ ;  $\Theta_3^{nep}$ ;...;  $\Theta_i^{nep}$  фиктивных дуг  $S_{F_1F_2'}$ ;  $S_{F_2F_2'}$ ;  $S_{F_3F_3'}$ ;...;  $S_{F_iF_i'}$  соответствуют удельным приведенным затратам на доставку единицы груза.

Каждая вершина  $F_R$  может являться как пунктом отправления груза, назовем ее «исток» ( $F_i$ ), так и пунктом назначения – «сток» ( $F_j$ ). При этом каждой допустимой паре «исток - сток» соответствует свой «продукт», который нельзя смешивать с другими (перевозка «неоднородных» и «невытесняемых» грузов); величины этих грузопотоков задаются матрицей грузопотоков.

## Список литературы

1. Беляев В.М. Терминальные системы перевозок грузов автомобильным транспортом. – М.: Транспорт, 1987. – 287 с.
2. Вельможин А.В., Гудков В.А., Миротин Л.Б., Куликов А.В. Грузовые автомобильные перевозки: Учебник для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 560 с.

Получено 10.04.2020

---

МРНТИ 49.44

**С.В. Григорьева, А.Ж. Алимханова, Т.С. Дмитриева, К.А. Елеусизова**

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

**ОПТИЧЕСКИЙ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ**

*В статье раскрыты существующие проблемы для широкого внедрения технологии Интернета вещей, приведены перспективные направления на основе оптической беспроводной связи для реализации интеллектуальных систем жизнеобеспечения.*

*Мақалада интернет заттардың технологиясын кеңінен енгізу проблемалары қарастырылған, өмірді зияткерлік жүйелерді енгізу үшін оптикалық сымсыз байланыс негізінде перспективалық бағыттар берілген*

*The article reveals the existing problems for the widespread adoption of the Internet of Things technology, presents promising areas based on optical wireless communications for implementing intelligent life support systems.*

**Ключевые слова:** Интернет вещей, оптическая беспроводная связь, передача данных, Visible Light Communications, оптическая камера.

Началом быстрого роста Интернета вещей принято считать 2011 год, когда международными аналитическими компаниями было зафиксировано превышение количества подключенных физических объектов над количеством подключенных людей. Но еще в 2001 году в отчете Национального исследовательского совета США было предсказано: «Число физических устройств со встроенными компьютерами, объединенными в сети, будет стремительно расти... Это радикально изменит взаимодействие человека с окружающим миром».

Ведущей исследовательской и консультационной компанией Gartner, специализирующейся на рынках информационных технологий, дается следующее определение: «Интернет вещей (IoT, Internet of Things) – это сеть физических объектов, оснащенных встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или внешней средой» [1]. Поскольку парадигма Интернета вещей открывает возможности для инноваций, которые способствуют взаимодействию между объектами и людьми, она позволяет создавать «умные» города, инфраструктуры и услуги для повышения качества жизни и эффективного использования ресурсов.

Большинство международных аналитических агентств дают высокие оценки росту числа соединенных устройств в мире. В 2016 году на конференции Internet of Things World (Санта Клара, США) компания SigFox привела прогнозируемые данные от различных компаний (рис. 1). По графику видно, что значения отличаются на порядок, например: аналитиками компании Gartner было заявлено, что количество соединенных устройств в 2020 году достигнет 21 млрд. шт., а специалистами компании Intel для этого же года приводится значение в 200 млрд. шт.

В мае 2019 года экспертами компании Strategy Analytics обнародованы данные о подключении 22 млрд.шт. в 2018 году [3]. Приведенный прогноз, а также реальные данные о темпах роста рынка Интернета вещей диктуют промышленным компаниям, разработчикам платформ и приложений вкладывать финансы в развитие и продвижение данного сегмента.

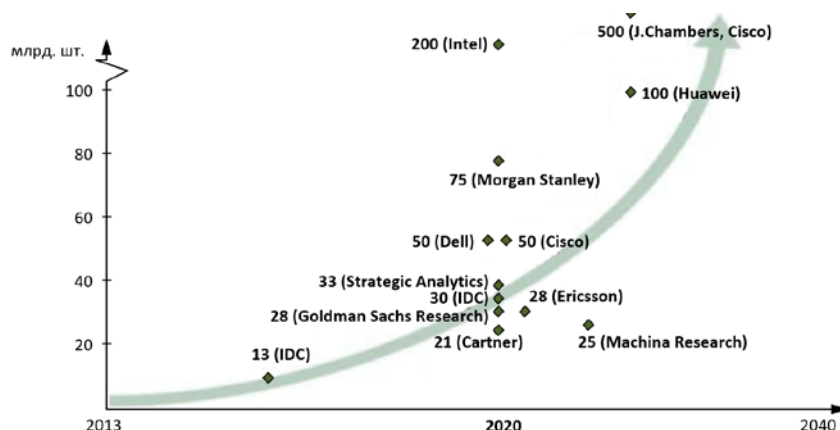


Рисунок 1 – Прогноз внедрения технологии Интернета вещей в мире по количеству соединенных устройств, млрд. шт. [2]

В IoT каждый объект или предмет виртуально подключены и Интернет становится инфраструктурой для поддержки соединений этих взаимосвязанных объектов. Поскольку все больше устройств развиваются в направлении использования беспроводной сети, существенно увеличивается трафик и потребность в расширении спектра. Ключевые требования систем IoT: низкая стоимость устройства, низкая стоимость развертывания, высокая энергоэффективность, высокая безопасность и конфиденциальность, а также поддержка для огромного количества устройств. Широкое внедрение устройств в интеллектуальную среду представляет собой серьезную проблему для поставщиков коммуникационных услуг в целях обеспечения экономичного и высококачественного беспроводного соединения. Оптимальная для использования радиочастота в диапазоне 1-2 ГГц на сегодняшний день уже перегружена. 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 быстро растущую потребность. Использование нового спектра становится уникальным решением.

Параллельно с развитием технологий в радиочастотной области 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 [4-6].

В оптической беспроводной связи можно использовать три основные полосы ультрафиолетового, инфракрасного и видимого света. В пределах последних двух полос возможна связь посредством видимого света (Visible Light Communications, VLC), беспроводной оптики (Free Space Optics, FSO) и через оптическую камеру (Optical Camera Communications, OCC), которые потенциально могут рассматриваться для реализации технологии IoT [7, 8]. На рис. 2 представлены схемы передачи данных по оптической беспроводной связи. Каждая из этих технологий имеет индивидуальные отличные особенности и некоторые ограничения.

В технологии VLC используются светодиодные светильники и фотодетекторы для одновременного обеспечения передачи данных и освещения в помещениях. Видимый диапазон длин волн ~370-780 нм обеспечивает пропускную способность ~400 ТГц, что в 10000 раз больше радиочастотной полосы пропускания [9]. Кроме того, технология VLC включает внутреннюю безопасность на физическом уровне, устойчивость к радиочастотным электромагнитным помехам и свободное лицензирование. Светодиоды имеют ряд преимуществ перед существующей осветительной инфраструктурой: меньшее энергопотребление, большую продолжительность жизни, высокую энергоэффективность, удобное техническое обслуживание, низкие характеристики выработки тепла и высокую скорость переключения [10].



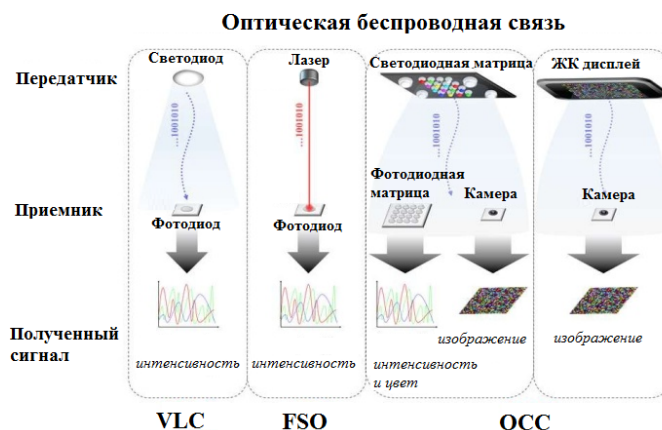


Рисунок 2 – Схемы передачи данных по оптической беспроводной связи

VLC способен обеспечить высокую скорость передачи данных в диапазоне десятков метров, но не учитывает многопользовательский доступ. В отличие от VLC двунаправленная передача данных Li-Fi (Light Fidelity) представляет собой технологию сетей на основе светодиодных передатчиков, которая включает многопользовательский доступ, двунаправленную связь [11]. Li-Fi похож на технологию Wi-Fi: реализует высокоскоростное беспроводное соединение совместно с освещением, используя светодиоды в качестве передатчиков, а фотоприемники в качестве приемников; видимый свет используется для прямого пути, а в качестве средства связи для обратного трансфера – инфракрасный порт или видимый свет. Приемные устройства в большинстве пользовательских устройств, таких как смартфоны, не оснащены мощными светодиодами; таким образом, связь по восходящей линии связи в VLC и Li-Fi на данный момент осуществляется не достаточно хорошо.

Технология FSO осуществляет передачу данных в инфракрасной части спектра. Приемопередающий модуль включает мощный лазерный диод для передачи сигнала и высокочувствительный фотодиод для приема (рис. 2). Длина волны в существующих системах зависит от применяемого лазерного диода и изменяется в пределах 700-950 нм или 1550 нм [12]. Оборудование FSO работает в диапазоне ~400 ТГц и не требует лицензирования и процедуры выделения частот. Решения FSO на рынке транзитных беспроводных сетей в настоящее время поддерживают скорость до 30 Гбит/с, что считается самым высоким из когда-либо зарегистрированных [13].

Каналы FSO невосприимчивы к любому типу электромагнитных помех, создаваемых радиочастотными устройствами и линиями связи. За счет этого можно достигать большой плотности покрытия без проблем с помехами от одновременной работы нескольких систем. Имеет высокую конфиденциальность. Перехватить сигнал можно только установив сканеры-приемники непосредственно в узкий луч от передатчиков. Развертывание и демонтаж системы легко выполнить за несколько часов для установления связей между блоками приемопередатчиков FSO. Может работать как внутри, так и вне помещения с высокой скоростью передачи данных до нескольких километров, тогда как связь в видимом свете может достигать короткого расстояния в несколько метров [14]. Преимущества технологии FSO делают ее привлекательной для различных военных и гражданских целей по сравнению с традиционными сетями связи [15].

Основные проблемы для повсеместного внедрения связаны с зависимостью FSO от погодных условий и необходимостью обеспечения прямой видимости между передатчиком и приемником [16].

Все приемники технологий FSO, VLC и Li-Fi состоят из фотоприемников, которые редко используются в современных приемных устройствах, и затраты на коммерциализацию для изменения структуры приемника высоки.

За последние несколько лет появились интеллектуальные устройства со встроенными дополнительными металлоокислительно-полупроводниковыми камерами высокого разрешения

(complementary metal-oxide-semiconductor, CMOS) [17, 18]. Большинство смартфонов нового поколения имеют встроенные CMOS-камеры, обеспечивающие возможность фото- и видеосъемки, и могут использоваться для передачи данных и местной локализации.

Смартфон или видеокамера VLC в рамках беспроводной оптической связи рассматриваются в качестве кандидата на стандарт IEEE802.15.7 и называются OCC [19 - 21]. OCC представляет собой расширение VLC с преимуществом отсутствия дополнительных аппаратных средств при низкой скорости передачи данных и позиционирования внутри помещений [6].

В отличие от обычных систем VLC, в которых в качестве приемника используется фотоприемник, в OCC в качестве приемника используется камера CMOS, встраиваемая в современные стандартные смартфоны, цифровые камеры, задние камеры автомобиля, камеры наблюдения [22]. То есть, OCC захватывает двумерные данные в виде последовательностей изображений, что позволяет передавать больше информации по сравнению с VLC на базе фотоприемников. Технология OCC достигает значительного прогресса в ключевых областях применения в рамках четвертой промышленной революции [23, 24].

С точки зрения инфраструктуры, описанные технологии имеют различия в типе передатчика, приемника и средств связи. В табл. 1 представлено сравнение показателей производительности технологий OWC [8,9,11].

Таблица 1

Сравнительные показатели технологий OWC

Показатели	VLC	Li-Fi	FSO	OCC
Топология связи	Однонаправленная или двунаправленная	Двунаправленная	Однонаправленная или двунаправленная	Однонаправленная
Дальность связи	20 м	10 м	более 10,000 км	60 м
Поддержка мобильной связи	необязательно	обязательно	отсутствует	необязательно
Уровень помех	низкий	низкий	низкий	отсутствует
Скорость передачи данных	10 Гбит/с с использованием светодиодов	10 Гбит/с с использованием светодиодов	40 Гбит/с	55 Мбит/с
Безопасность	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая

На рис. 3 приведены особенности оптической беспроводной связи и преимущества при использовании в технологии IoT.



Рисунок 3 – Преимущества оптического Интернета вещей

На сегодняшний день радиочастотные системы не могут удовлетворить высокие требования будущих коммуникационных сетей. Технологии оптической беспроводной связи являются лучшим дополнительным решением. Предложения на основе VLC и OCC могут проложить путь к развертыванию сетей оптического IoT для реализации интеллектуальных и экономически эффективных сред.

#### Список литературы

1. URL: <https://www.gartner.com/it-glossary/internet-of-things/>
2. Мировой опыт и перспективы развития промышленного интернета вещей в России. – URL: <https://center2m.ru/>
3. Интернет вещей, IoT, M2M (мировой рынок). – URL: <http://www.tadviser.ru/index.php/>
4. Uysal M., Capsoni C., Ghassemlooy Z., Boucouvalas A. and Udvary R.E. Optical wireless communications – An emerging technology. – Springer, 2016.
5. Ghassemlooy Z., Zvanovec S., Khalighi A.M., Popoola O.W., Perez J. Optical wireless communication systems // *Optik*. – 2017. – Vol.151. – Pp. 1-6.
6. Chowdhury M.Z., Hossan M.T., Islam A., Jang Y.M. A comparative survey of optical wireless technologies: Architectures and applications // *IEEE Access*. – 2018. – Vol. 6. – Pp. 9819-10220.
7. Teli S.R., Zvanovec S., Ghassemlooy Z. Optical Internet of Things within 5G: Applications and Challenges // *IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System*. – 2018.
8. Chowdhury M.Z., Shahjalal Md., Hasan M.K., Jang Y.M. The Role of Optical Wireless Communication Technologies in 5G/6G and IoT Solutions: Prospects, Directions, and Challenges, 2019.
9. Использование волн видимого света для широкополосной связи: Отчет МСЭ-R. – Женева, 2019.
10. Ghassemlooy Z., Alves N.L., Zvanovec S. and Khalighi A.M. Visible Light Communications: Theory and Applications. – CRC Press, 2017.
11. Difference between Li-Fi and Wi-Fi. – URL: <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/LiFi-vs-WiFi.html>
12. Организация транспортной сети с использованием системы FSO. – URL: <https://studbooks.net/2087949/>
13. URL: [http://artolink.com/page/products/free space optics](http://artolink.com/page/products/free%20space%20optics) Artolink 30Gbps/
14. Kuppusamy P., Muthuraj S., Gopinath S. Survey and challenges of Li-Fi with comparison of Wi-Fi // *International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking*. – Chennai, India, 2016. – Pp. 896-899.
15. Kaushal H., Kaddoum G. Optical communication in space: Challenges and mitigation techniques // *IEEE Commun. Surv. Tutor*. – 2016. – Vol. 33(99). – Pp. 57-96.
16. Singh R., Sharma D. Performance Evaluation of Free-Space Optical Communication using Linear Polarization Shift Keying Modulation // *International Journal of Enhanced Research in Management & Computer Applications*. – 2016. – Vol. 5, Issue 12. – Pp. 30-35.
17. Boubezari R., Minh L.H., Ghassemlooy Z. and Bouridane A. Smartphone camera based visible light communication // *Journal of Lightwave Technology*. – 2016. – vol. 34, no. 17. – pp. 4121-4127.
18. Saeed N.R., Guo S., Park K.H., Al-Naffouri T.Y., Alouini M.S. Optical Camera Communications: Survey, Use Cases, Challenges, and Future Trends // *Physical Communication*. – 2019. – Vol. 37.
19. Jang M.J. IEEE 802.15 WPAN 15.7 Amendment - Optical camera communications Study Group (SG 7a), 2016.
20. Le N. and Jang M.J. Performance evaluation of MIMO optical camera communications based rolling shutter image sensor // in *Eighth Int'l. Conf. Ubiquitous and Future Networks*. – Vienna, Austria, 2016.
21. Bodrenko A.I. Method of organizing OCC wireless computer network – URL: <http://vixra.org/pdf/1612.0046v1.pdf>
22. Cahyadi A.W., Kim H.Y. and Chung H.Y. Mobile phone camera based indoor visible light communications with rotation compensation // *IEEE Photonics Journal*. – 2016. – Vol. 8, no. 2. – Pp. 1-8.
23. Takai I., Ito S., Yasutomi K., Kagawa K., Andoh M. and Kawahito S. LED and CMOS image sensor based optical wireless communication system for automotive applications // *IEEE Photonics Journal*. – 2013. – Vol. 5, no.5
24. Teli S., Anugrah A.W. and Chung H. Y. High-speed optical camera V2V communications using selective capture // *Photonic Network Communications*. – 2018. – Pp. 1-7.

Получено 10.04.2020

МРНТИ 55.55.31

М.В. Дудкин<sup>1</sup>, А.И. Ким<sup>1</sup>, М. Młyńczak<sup>2</sup>, Е.Л. Дудкина<sup>1</sup>, М.О. Жанабаева<sup>1</sup><sup>1</sup>Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева<sup>2</sup>Wrocław University of Science and Technology, Poland**РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОГО ОБРАЗЦА ЛЬДОСКАЛЫВАТЕЛЯ  
ДЛЯ ЗИМНЕГО СОДЕРЖАНИЯ ДОРОГ. КОРРЕКТИРОВКА РЕШЕНИЙ (ПРОЕКТ АР05130653)**

В работе описан процесс изготовления и работы опытно-промышленного образца (ОПО) роторного льдоскалывателя с инерционными телами в виде дробящих бойков и скалывающих лопаток, сделан расчет параметров конструкции льдоскалывателя и рабочего процесса, выполнена корректировка некоторых конструктивных и технологических решений, выполнено компьютерное моделирование деталей и узлов роторного рабочего органа льдоскалывателя скалывающе-дробящего действия с повышенной эффективностью работы, обеспечивающего в зимнее время эффективное удаление снежно-ледяных образований с тротуаров без повреждения несущего основания или покрытия.

Бұл мақалада ұсақтайтын соққыш пен опырығыш күрек түріндегі инерциялық денелері бар тәжірибелік-өнеркәсіптік роторлы мұзжарғыш үлгісінің дайындалуы мен жұмыс процесі сипатталған. Жұмыс процесі мен мұзжарғыш конструкциясының параметрлеріне есептеулер жүргізіліп, кейбір конструктивтік және технологиялық шешімдерді түзету орындалды. Қыс мезгілінде тротуарларда қар-мұз түзілімдерін негізгі тірек пен жабынға зақым келтірместен тиімді алып тастауды қамтамасыз ететін, жұмыс тиімділігі жоғары, опырығыш-ұсақтағыш мұз жарғыштың жұмыс органының бөлшектері мен тораптарын компьютерлік модельдеу орындалды.

The paper describes the manufacturing process and the operation of a pilot industrial design (PID) of a rotary ice breaker with inertial bodies in the form of crushing heads and cleaving blades. There is calculation of the design parameters of the ice cleaver and the working process, corrects some structural and technological solutions. The article performs computer modeling of parts and assemblies of the rotary working organ of the ice cleaver of chipping-crushing action with increased work efficiency, providing effective removal in winter time the formation of snow-ice formations from sidewalks without damage to the bearing base or coating.

**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 зимний период 2018-2020 гг. 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.

**Разработка конструкции.** На основании инженерного и математического анализа в данной статье, как вариант, показана разработанная конструкция вращающегося рабочего органа скалывающе-дробящего действия [1, 2], представляющая собой комбинированный ротор с дробящими бойками и скалывающими лопатками.

Комбинированный ротор для скалывания и дробления снежно-ледяных образований (СЛО) и наледи на дорогах содержит инерционные бойки 1, скалывающие лопатки 2, приводной вал 3, подшипниковые узлы 4, шкив 5, торцевые диски 6, диск жесткости 7, стопорные винты 8, регуляторы 9, несущие оси 10, дополнительные стопорные оси 11 (рис. 1).

Комбинированный ротор работает следующим образом. При вращении приводного вала 3, сидящие на осях инерционные бойки 1 и скалывающие лопатки 2 под действием центробежной силы разлетаются, занимая положение с радиально удаленными свободными гранями. Инерционные бойки 1, при вращении «от себя» дробят ледяной накат «снизу-вверх», одновремен-

но как бы срезая его, а при вращении «на себя», при движении сверху вниз, ударяют по дробимому материалу, дробя его в мелкую крошку.

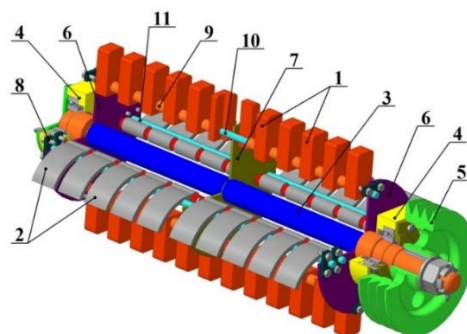


Рисунок 1 – Схема комбинированного ротора с дробящими бойками и скалывающими лопатками

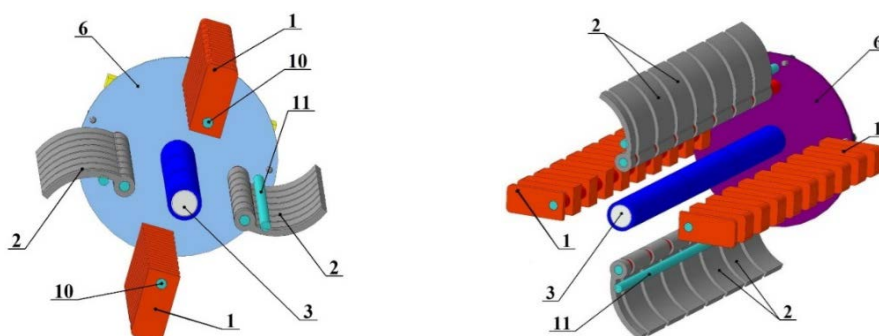


Рисунок 2 – Схема комбинированного ротора с отсеченным шкивом и одним торцевым диском

При дальнейшем вращении приводного вала 3 свободная грань скалывающей лопатки 2 входит в разрушаемый снежно-ледяной слой под некоторым углом  $\alpha$ , который зависит от свойств СЛЮ и дорожного покрытия; дополнительные стопорные оси 11 не дают скалывающим лопаткам 2 под действием центробежной силы прокрутиться дальше и заставляют их занимать такую ориентацию, когда лопатки 2 входят в лед под заданным углом  $\alpha$ .

При дальнейшем повороте приводного вала 3, скалывающие лопатки 2, внедряясь в снежно-ледяной слой, достигают дорожного покрытия и, поскольку прочность дорожного покрытия превышает прочность снежно-ледяного слоя, проскальзывают по нему, взламывая снежно-ледяной слой и откалывая от него захватываемый кусочек. Если СЛЮ не был разрушен лопаткой 2, он дробится ударом инерционного бойка 1, следующим за скалывающей лопаткой 2. Несущий слой дорожной одежды в данном случае не повреждается, так как кинетической энергии инерционных элементов хватает на разрушение льда и не хватает на разрушение дорожного покрытия.

*Механико-математическая модель рабочего процесса.* Согласно конструктивно-технологической точке зрения рассматриваемый комбинированный ротор, как механическая система, представляет собой сборный вращающийся ротор с цилиндрическими контурами (рис. 1, 2), на торцевых дисках 6 которого смонтированы несущие оси 10, на который по всей длине с возможностью свободного вращения поочередно на ось 10 надеты скалывающие лопатки 2 или параллелограммные инерционные бойки 1. На одной оси 10 скалывающие лопатки 2, на следующей по ходу вращения оси 10 – инерционные бойки 1. Всего осей 4.

Скалывающие лопатки, выполненные в виде клиновидного скребка, ограничены во вращении вокруг несущей оси дополнительной стопорной осью, проходящей по всей длине ротора. В момент касания свободной заостренной гранью поверхности льда при вращении «на себя» начинается его локальная деформация  $h$  и разрушение (скалывание) (рис. 3, а).

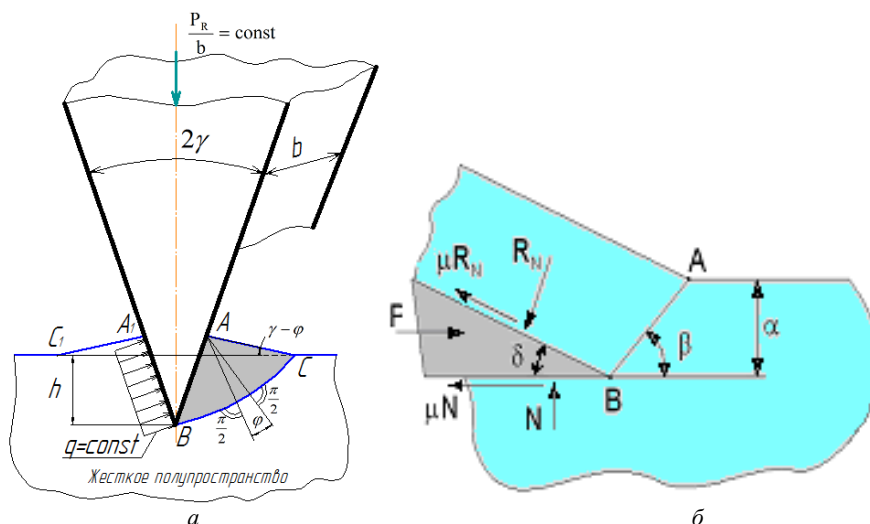


Рисунок 3 – Графическая модель внедрения свободной грани скалывающей лопатки в жестко-пластическую среду: а – при ударе сверху; б – при скалывании снизу

Взаимодействие инерционного бойка с дробимой поверхностью больше напоминает процесс внедрения полукруглого штампа в условиях близлежащих свободных поверхностей, образованных от забоев, оставшихся от соседних инерционных бойков (рис. 4).

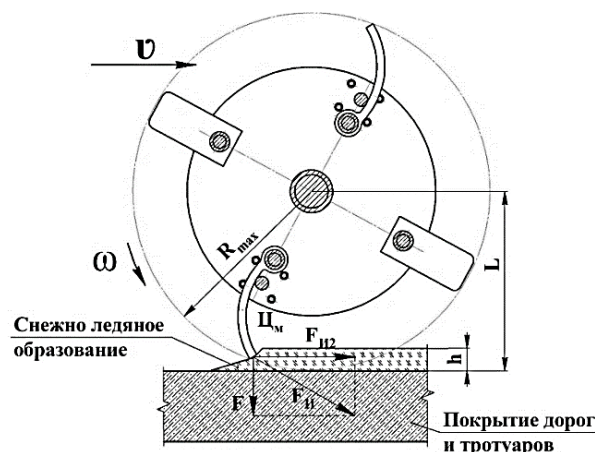


Рисунок 4 – Схема взаимодействия скалывающей лопатки со снежно-ледяным накатом

Примем за основу расчета приведенные ниже допущения из опыта предыдущих исследований:

- 1) фундаментальное решение известной двумерной статической задачи теории пластичности (плоская деформация) о внедрении без учета трения твердого клина свободной грани скалывающей лопатки с углом раствора  $2\gamma$  и толщиной  $b = \text{const}$  в СЛЮ, представляющее собой жесткопластическую однородную изотропную среду, ограниченную плоскостью полотна дороги [1] (рис. 3, а);
- 2) перечисленные ниже, классические допущения, предпосылки и аналитические зависимости:
  - комбинированный ротор вращается со скоростью  $n = \text{const}$  (об/мин) и передает на несущий приводной вал внешний крутящий момент [2] (рис. 3)

$$M_{\text{БК}} = \frac{9550 \cdot W_M}{n} = P_R \cdot \rho \quad (\text{Н} \cdot \text{м}), \quad (1)$$



где  $W_M$  – мощность приводного силового агрегата (кВт), достаточная для внедрения в толщу ледяного наката одной скалывающей лопатки,  $P_R$ ;  $\rho$  – сосредоточенное реактивное усилие, необходимое для уравнивания  $M_{BK}$  в его наименьшем достижении линии нагружения от точки приложения  $O_B$ ;

– жестко-пластическая среда (ледяной накат) выдавливается по обе стороны проникающего клина свободной грани скалывающей лопатки ротора льдоскалывателя (рис. 3), а крайняя грань  $AC$  с высокой долей вероятности описывается прямой [2]

$$AC = AB = \lambda = h \cdot [\cos \varphi - \sin(\gamma - \varphi)]^{-1}, \quad 0 \leq h \leq h_{пр},$$

где  $\varphi$  – угловая составляющая, описывающая размер части сектора  $ABC$  пластического поведения СЛЮ или ледяного покрытия, определяемая подбором из трансцендентной зависимости

$$\varphi + \arccos \operatorname{tg}(0,25\pi - 0,5\varphi) = 2\gamma \quad (2)$$

или по графику функции  $\gamma = \gamma(\varphi)$ ;

– контактное давление  $q$ , равное  $\sigma_3 < 0$  наибольшему главному сжимающему напряжению (по модулю) в слое СЛЮ или ледяного покрытия, постоянно вдоль линии  $AB$ ,  $A_1B$  расчетной схемы рис. 3, и связано с равномерно распределенным по толщине клина грани свободного конца скалывающей лопатки  $b$  эксплуатационным усилием  $P_R \cdot b^{-1} = \text{const}$  соотношениями [1]

$$P_R \cdot b^{-1} = 2 \cdot q \cdot l \cdot \sin \gamma, \quad q = |\sigma_3| = 2 \cdot \sigma_T \cdot (1 + \varphi) \cdot 3^{-0,5}, \quad (3)$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести льда, составляющий 55 % ÷ 65 % [4, 5, 6], от временного сопротивления  $\sigma_{вс}$ :

$$\sigma_T = (0,55 \div 0,65) \sigma_{вс}. \quad (4)$$

Разработанная физико-математическая модель позволяет еще на этапе проектирования оптимизировать конструкцию комбинированного ротора, да и в целом самой льдоскалывающей машины, с целью повышения эффективности ее работы, путем регулирования и подбора рациональных механико-геометрических характеристик по заданным величинам глубины проникновения бойков или скалывающих лопаток  $h = h_{пр} < h_L$ , прочности СЛЮ или ледяного покрытия  $\sigma_{вс}$  и его толщины  $h_L$  [1].

Скорость разрушения или производительность по площади контакта (ширине) комбинированного ротора можно определить из геометрической суммы окружной скорости оборачиваемости инерционных элементов, смонтированных на комбинированном роторе (по их свободной ударно-дробящей грани)  $\omega R$  (расстояние  $R$  находится с учётом прогиба всех связей), и поступательного передвижения (скорости подачи) всего мотоблока с навешенным комбинированным ротором, представляющим льдодоборочную машину,  $v_n$ . Применяв правило параллелограмма, определим рабочую скорость разрушения СЛЮ или ледяного наката на поверхности дорог:

$$v_c = \sqrt{v_n^2 \pm \omega^2 \cdot R^2 \pm 2 \cdot \omega \cdot R \cdot v_n \cdot \cos \varphi}. \quad (5)$$

Масса скалывающей лопатки или инерционного бойка являются одним из самых основных параметров комбинированного ротора ударно-скалывающего воздействия на СЛЮ, влияющего на характеристики ледовых крошек или скола и на целостность и сохранность несущего покрытия дорожного полотна. Определим ее из следующей зависимости:

$$m_6 = \frac{2\pi h_L^3 \rho_L}{3 \left( \frac{v_c}{v_n} + 1 \right)}. \quad (6)$$

Определим мощность, затрачиваемую на дробление СЛЮ и ледяного наката на несущей поверхности автомобильных дорог, как произведение скорости вращения приводного вала комбинированного ротора и требуемого для его работы крутящего момента. Мощность, затрачиваемую на тяговое усилие, определим умножением скорость и передвижения мотоблока с навешенным комбинированным ротором на величину этого усилия:



$$N_{\text{разр}} = v_{\text{п}} P_{\text{т}} + \omega M_{\text{кр}}. \quad (7)$$

Как боек 1, так и скалывающая лопатка 2 (рис. 1, 6) могут быть выполненными различной конфигурации, обеспечивающей эффективное очищение поверхности дорог от СЛО при разных условиях эксплуатации. Цифровые модели бойков и скалывающих лопаток представлены на рис. 5.

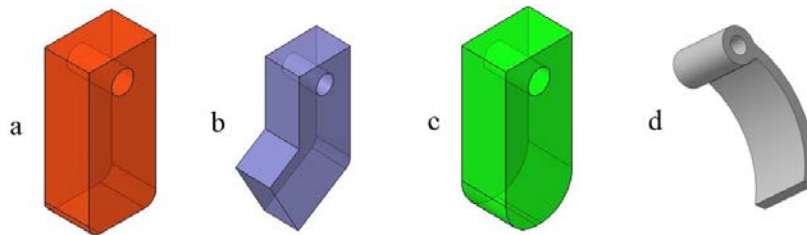


Рисунок 5 – 3D-модели бойков для дробления ледяного наката и СЛО: а – дробящий боек для наледь; б – боек для дробления толстой наледь; с – боек для разбивания СЛО, d – скалывающая лопатка

Определим минимально требуемое усилие для разрушения СЛО:

$$P_{\min} = \frac{F}{A} = [\sigma_{\text{сж}}] = 0,2 \text{ МПа}, \quad (8)$$

где  $F$  – сила удара бойка или скалывающей лопатки,  $F=28 \text{ Н}$ ;  $A$  – площадь контакта СЛО и бойка или скалывающей лопатки,

$$A = 0,00007 \text{ м}^2.$$

$$P_{\min} = \frac{F}{A} = \frac{28 \text{ Н}}{0,00007 \text{ м}^2} = 0,4 \text{ МПа} \geq [\sigma_{\text{сж}}] = 0,2 \text{ МПа} \quad (9)$$



Рисунок 6 – Комбинированный ротор дробяще-скалывающего действия

Разрушить лед скалыванием (сжатием) можно, предварительно превысив предельно допустимое значение  $[\sigma_{\text{сж}}]$  до 0,18...0,19 МПа. Для расчета эксплуатационных размеров бойка или скалывающей лопатки применим обратный расчет, когда для достижения необходимой дробящей силы следует выполнить условие, где сила внедрения ( $P$ , Па) бойка или скалывающей лопатки в разрушаемое СЛО должно равняться или превышать его прочность при сжатии  $P \geq [\sigma_{\text{сж}}]$ .

*Заключение.*

1. Разрушение льда не зависит от приложенной к нему силы, а зависит только от подведенной к нему кинетической энергии и величины той ее части, которая тратится на совершение полезной работы деформации льда, т.е. преобразуется в потенциальную энергию напряжений, возникающих в толще льда в процессе деформации и приводящих к его разрушению. С этих позиций влияние на процесс разрушения льда можно оказать изменением массы бойка, но более эффективно – изменять скорость движения бойка (т.к. в кинетической энергии скорость – в квадрате), которую

можно регулировать, изменяя частоту вращения или радиус расположения бойка или скалывающей лопатки.

2. При работе инерционных бойков или скалывающих лопаток по поверхности, непокрытой слоем льда, на ней остаются смываемые следы от удара, но сама поверхность не разрушается, что подтверждает правильность гипотезы о возможности разрушения слоя льда на поверхности автомобильных дорог без разрушения самой поверхности дороги.

3. При толщине льда 15 мм и более массы инерционного бойка  $m = 0,3$  кг для эффективного разрушения льда за 1 проход, при соблюдении заводских характеристик базовой машины, достаточно только на максимальных оборотах приводного вала. В ином случае необходимо увеличивать массу инерционного бойка или скалывающей лопатки.

4. Разработанная в проекте и описанная в данной работе опытно-промышленная модель льдо-скалывателя позволяет перейти к непосредственному изготовлению промышленного образца и его коммерческой реализации.

#### Список литературы

1. Абдеев Б.М., Гурьянов Г.А. Вдавливание неподвижного сферического штампа в упругодеформируемое двуслойное пространство с жёстким основанием // ВЕСТНИК ВКТУ им. Д. Серикбаева. – 2013. – № 2. – С. 15-27.
2. 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 // JMERE. – Vol. 42, No. 4 (2019). – Pp. 01-08. – URL: <https://jmerd.org.my/jmerd-04-2019-01-08/>

Получено 10.04.2020

---

МРНТИ 55.55.31

**М.В. Дудкин<sup>1</sup>, А.И. Ким<sup>1</sup>, М. Mlynczak<sup>2</sup>, Г.А. Гурьянов<sup>1</sup>, Е.Л. Дудкина<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

<sup>2</sup>Wrocław University of Science and Technology, Poland

#### **НАТУРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОЕКТУ АР05130653 И КОРРЕКТИРОВКА КОНСТРУКЦИИ ОПЫТНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ОБРАЗЦА ЛЬДОСКАЛЫВАТЕЛЯ ДЛЯ ЗИМНЕГО СОДЕРЖАНИЯ ДОРОГ И ТРОТУАРОВ**

*В работе описан процесс опытных экспериментальных исследований опытно-промышленного образца льдоскалывателя с кубическими инерционными элементами на гибкой связи. Приведена схема нового рабочего органа и льдоскалывателя в целом. Даны экспериментальные зависимости параметров разрушаемого ледяного покрова от конструктивных размеров и свойств рабочего органа льдоскалывателя. Выполнены корректировка некоторых конструктивных, размерных и технологических решений и компьютерное моделирование деталей и узлов рабочего органа льдоскалывателя с повышенной эффективностью работы, обеспечивающего в зимнее время эффективное удаление снежно-ледяных образований с тротуаров без повреждения несущего основания или покрытия.*

*Мақалада икемді байланыстағы кубтық инерциялық элементтері бар мұзжарғыштың тәжірибелік-өнеркәсіптік үлгісінің тәжірибелі эксперименталдық зерттеу үдерісі сипатталған. Жаңа жұмыс органының және жалпы мұзжарғыш сұлбасы келтірілген. Мұзжарғыш жұмыс органының конструкциялық өлшемдері мен қасиеттеріне сыналатын мұз жамылғысының параметрлеріне тәжірибелік тәуелділіктері берілген. Қыс мезгілінде тротуарлардан қар-мұз түзілімдерін салмақ түсетін негіз бен жабынды зақымдамай тиімді алып тастауды қамтамасыз ететін, жұмыс тиімділігі жоғары мұзжарғыштың жұмыс органының бөлшектері мен тораптарын компьютерлік модельдеу мен кейбір конструктивтік, өлшемдік және технологиялық шешімдерді түзету орындалды.*

*The paper describes the process of experimental research of a pilot industrial model of an ice breaker with cubic inertial elements in a flexible connection. The scheme of the new working body and the ice breaker as is given. Experimental dependences of the parameters of the destructible ice cover on the structural dimensions and properties of the working organ of the ice cleaver are given. Some structural, dimensional and technological solutions were corrected, computer modeling of parts and units of the working unit of the ice cleaver was performed with increased work efficiency, which ensures the effective removal of snow and ice formations from sidewalks in winter without damaging the base or coating.*

**Ключевые слова.** льдоскалыватель, содержание дорог, кубические бойки, скалывание льда, снежно-ледяные образования.

**Введение.** Приведенные в статье результаты получены при выполнении проекта AP05130653 (договор с МОН РК № 104 от 05.03.2018 г.) «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время» в зимний период 2018-2020 гг. Целью проекта является разработка и изготовление конструкции, технической документации, технологии изготовления и испытания опытного промышленного образца льдоскалывателя, патентная защита полученных результатов 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.

**Корректировка конструкции.** К эксперименту был представлен льдоскалыватель с рабочим органом, имеющим нетрадиционную кубическую форму инерционных тел – бойков (рис. 1; 2).

**Экспериментальные исследования.** Экспериментальные исследования взаимодействия рабочего органа ударного действия со льдом и снежным накатом проводились в период с декабря 2019 по март 2020 года.

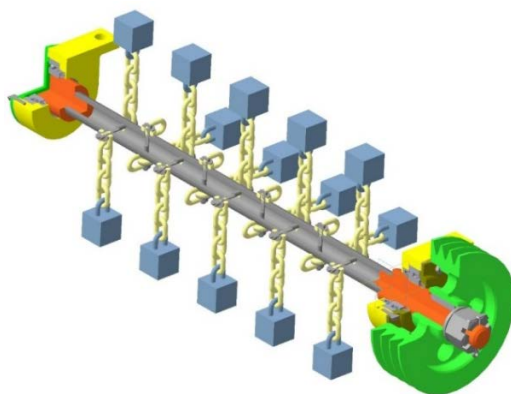


Рисунок 1 – Схема рабочего органа льдоскалывателя с кубическими бойками



Рисунок 2 – Крепление кубических бойков посредством гибкой связи на приводном валу льдоскалывателя

Льдоскалывающие агрегаты с кубическими бойками могут быть выполнены как самоходные машины, например на базе мотоблока (рис. 3), так и сделаны навесными к коммунальной щетке, рабочий орган которой набирается из отдельных секций (рис. 4).



Рисунок 3 – Общий вид опытного образца самоходной льдоскалывающей машины с цепным рабочим органом

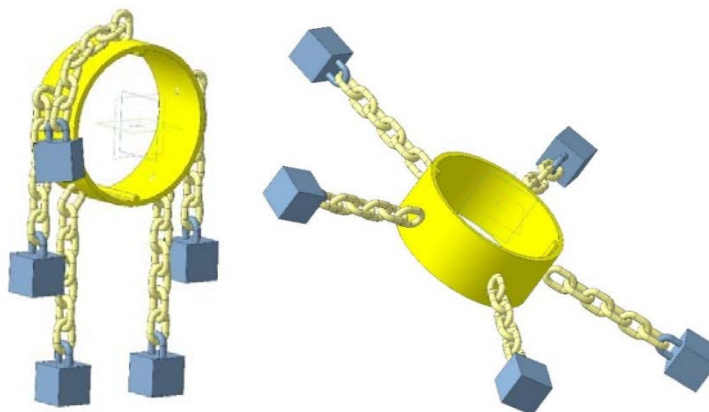


Рисунок 4 – Общий вид единичной секции наборного рабочего органа, монтируемого на коммунальную щетку

Для получения эмпирических представлений о рабочем процессе разрушения льда на твердом покрытии воздействием на него ударника с кубической рабочей поверхностью был проведен ряд экспериментов [1-4].

#### *Эксперимент №1*

Цели и задачи эксперимента: определение высоты свободного падения стального куба со стороны 50 мм, массой 0,5 кг, достаточной для разрушения льда при однократном сбрасывании куба; определение необходимой для разрушения льда скорости куба при однократном сбрасывании; определение частоты вращения рабочего органа с радиусом расположения кубического ударника относительно оси вращения рабочего органа  $R = 400$  мм, соответствующей линейной скорости куба при падении в момент соударения с поверхностью льда.

#### *Ход эксперимента*

Был выбран участок бетонной площадки, покрытый ровным слоем льда. Глубиномером штангенциркуля замерена толщина льда. С помощью термометра определена температура воздуха.

Поэтапно сбрасывался куб, начиная с высоты 100 мм, с шагом 50 мм, до тех пор, пока не произошло эффективное разрушение льда. Степень эффективности разрушения льда определялась визуально.

Измеренные и определенные параметры: температура воздуха  $t_{\text{в}} = -2^{\circ}\text{C}$ ; толщина льда  $h_{\text{л}} = 4$  мм; эффективная высота сбрасывания куба, при которой происходит эффективное разрушение льда,  $h_{\text{и}} = 1200$  мм.

Определение скорости куба, необходимой для разрушения льда, при  $h_{\text{и}} = 1200$  мм.

Как известно, конечная скорость при свободном падении равна:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{\text{и}}}, \text{ м/с}, \quad (1.1)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,2} = 4,85 \text{ м/с}.$$

Определение эквивалентной высоте падения куба частоты вращения рабочего органа при радиусе расположения ударника  $R = 400$  мм:

$$v = \omega \cdot R = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot R, \text{ м/с}; \text{ откуда}$$

$$n = \frac{30 \cdot v}{\pi \cdot R}, \text{ об/мин}; \quad (1.2)$$

$$n = \frac{30 \cdot 4,85}{3,14 \cdot 0,4} = 115 \text{ об/мин}.$$

*Основные результаты эксперимента №1:* полное разрушение льда толщиной  $h_{\text{л}} = 4$  мм при температуре воздуха  $t_{\text{в}} = -2^{\circ}\text{C}$  происходит при падении куба массой 0,5 кг и длиной стороны 50 мм с высоты  $h_{\text{и}} \geq 1200$  мм, причём при высоте падения куба 1200 мм лед разрушается без касания куба о поверхность бетона.

Аналогично первому эксперименту были проведены эксперимент 2 и эксперименты 3 и 4, результаты которых представлены на рисунках 5-7.

#### *Эксперимент №2*

Цели и задачи эксперимента: определение высоты свободного падения стального куба с длиной стороны 50 мм, массой 0,5 кг, достаточной для разрушения льда при двукратном сбрасывании куба; определение необходимой для разрушения льда скорости куба при двукратном сбрасывании; определение частоты вращения рабочего органа  $R = 400$  мм, соответствующей линейной скорости куба.

*Основные результаты эксперимента №2:* при двукратном падении куба массой 0,5 кг и длиной стороны куба 50 мм примерно в одну область с отклонением 20...30 мм полное разрушение льда толщиной  $h_{\text{л}} = 4$  мм при температуре воздуха  $t_{\text{в}} = -2^{\circ}\text{C}$  происходит при высоте падения  $h_{\text{и}} = 750$  мм, при этом лед разрушается без касания куба о поверхность бетона.

Сравнивая результаты экспериментов №1 и №2 можно сделать вывод, что двукратное попадание кубического ударника в одну небольшую область позволяет в 1,3 раза уменьшить скорость ударника.

#### *Эксперимент №3*

Цели и задачи эксперимента: определение высоты свободного падения и количества ударов стального куба со стороной 50 мм, массой 0,5 кг, достаточных для разрушения льда различной толщины при неоднократном сбрасывании; определение необходимой для разрушения льда скорости куба при трехкратном ударе; определение частоты вращения рабочего органа  $R = 400$  мм, соответствующей линейной скорости куба.

*Основные результаты эксперимента №3:* полное разрушение льда толщиной 15 мм при температуре воздуха  $t_{\text{в}} = -5^{\circ}\text{C}$  происходит при падении куба массой 0,5 кг и длиной стороны куба 50 мм в одну область (20...30 мм) начиная с высоты около 1000 мм, но количество ударов при этом очень велико, а при увеличенных толщинах льда количество сбрасываний и высоту сбрасываний определить практически не удастся. Причиной этого, по-видимому, является недостаточная для такой

толщины льда масса ударника (сбрасываемого куба) и большая для данных условий длина рабочей стороны куба.

**Эксперимент №4.** Для выяснения влияния рабочих параметров куба-ударника на процесс разрушения льда были проведены эксперименты по разрушению льда путем сбрасывания кубов массой 16 и 32 кг с длиной стороны куба 200 мм, в ходе которых было установлено, что ударниками такого размера можно разрушить лед толщиной до 10...15 мм преимущественно за счет значительной массы ударника, а при увеличении толщин льда происходит не разрушение, а смятие льда, образуется нечто, напоминающее механический наклёп, который не удаляется ударником.

Основные результаты эксперимента №4: с увеличением рабочей длины стороны кубического бойка эффективность разрушения льда уменьшается, т.е. разрушение льда ударниками большой массы и с большой рабочей плоскостью соприкосновения рабочей поверхности куба малоэффективно, так как требует большой энергии на привод ударника большой массы, а эффективность разрушения льда весьма низкая.

Определена эквивалентная частота вращения РО с радиусом расположения ударника относительно оси вращения рабочего органа  $R=400$  мм, соответствующая линейной скорости ударника при свободном падении в момент соударения с поверхностью льда путем определения высоты свободного падения, достаточной для разрушения льда при однократном сбрасывании ударника.

Эксперимент проводили при температуре воздуха  $t_{\text{в}} = -5$  °С на бетонной площадке, на которой путем намораживания были получены ровные участки с различной толщиной льда  $h = 15; 20; 30; 40; 65$  мм.

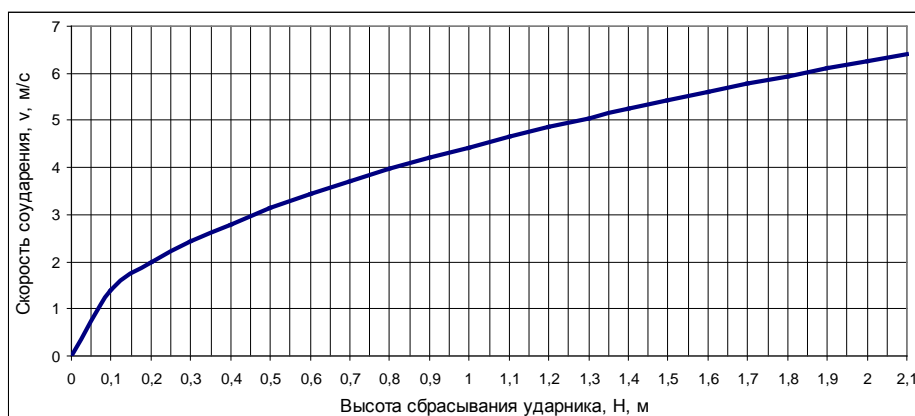


Рисунок 5 – Зависимость скорости соударения ударника со льдом от высоты сбрасывания

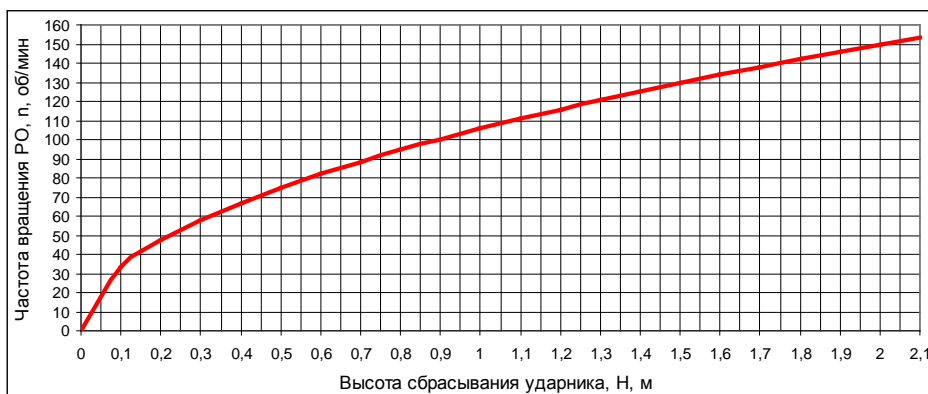


Рисунок 6 – Зависимость эквивалентной частоты вращения РО с радиусом расположения ударника относительно оси вращения  $R=400$  мм от высоты сбрасывания



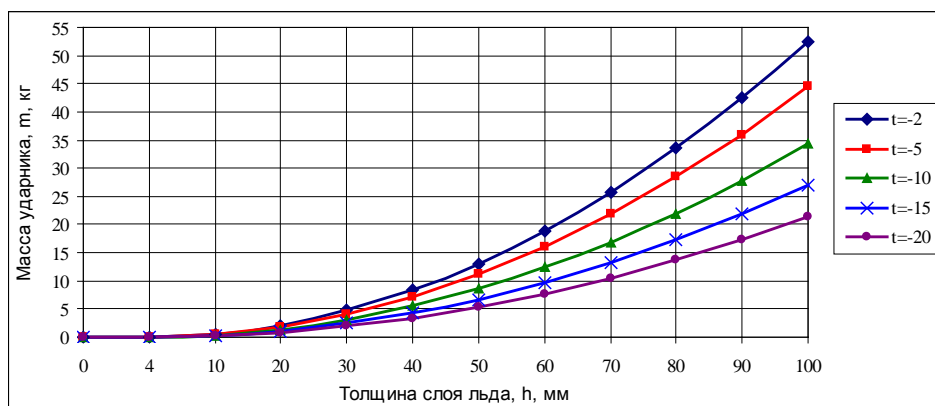


Рисунок 7 – Зависимость массы ударника от толщины льда при  $l=25$  мм,  $n=300$  об/мин,  $R=250$  мм и при  $t=-4^\circ\text{C}$ ,  $-10^\circ\text{C}$ ,  $-15^\circ\text{C}$ ,  $-20^\circ\text{C}$

Можно также регулировать процесс разрушения льда изменением длины стороны куба рабочей поверхности ударника, однако это довольно сложно осуществить конструктивно и практических решений для реализации данного способа регулирования еще не разработано.

*Выводы об эффективности работы льдоскалывателя.* Эффективным способом удаления льда с дорог и тротуаров является его механическое разрушение ударным воздействием твердой кубической поверхностью.

Необходимо разработать математическую зависимость между параметрами рабочего органа ударного действия с кубической рабочей поверхностью для разрушения льда, с учетом характеристик льда.

Были проведены две серии экспериментов для различных значений массы и длины стороны куба рабочей поверхности ударника, в которых была экспериментально определена скорость удара, необходимая для разрушения льда определенной толщины, а затем определена эквивалентная этой скорости удара частота вращения рабочего органа при постоянных значениях других его параметров. На основании результатов экспериментов с применением компьютера проведена эмпирическая корректировка начальной теоретической формулы [1].

В результате получена уточненная эмпирико-теоретическая зависимость между параметрами рабочего органа ударного действия с кубической рабочей поверхностью для разрушения льда, с учетом характеристик льда.

По полученной эмпирико-теоретической формуле проведены расчеты массы ударника для тех же значений толщины слоя льда, что и в экспериментах, и для тех значений эквивалентной частоты вращения РО, при которых происходило разрушение льда при однократном ударном воздействии на него. Во всех случаях расчетов получен очень близкий к экспериментальному результат (максимальная погрешность – 15,6 %).

Из эмпирико-теоретической зависимости также получены формулы для определения радиуса расположения ударника относительно оси вращения рабочего органа и частоты вращения рабочего органа.

В работе даны рекомендации по практическому использованию определяемых параметров для регулирования протекания процесса разрушения льда: текущее точное регулирование протекания процесса разрушения льда рекомендуется осуществлять изменением частоты вращения рабочего органа, а периодическое ступенчатое регулирование процесса при существенном изменении условий работы – сочетанием изменения массы ударника и радиуса расположения ударника.

Эффективным является регулирование процесса разрушения льда изменением длины стороны рабочей поверхности куба-ударника, однако практических решений для реализации данного способа регулирования, кроме описываемого в статье льдоскалывателя, еще не существует.



## Список литературы

1. Абдеев Б.М., Гурьянов Г.А. Вдавливание неподвижного сферического штампа в упругодеформируемое двуслойное пространство с жёстким основанием // ВЕСТНИК ВКТУ им. Д. Серикбаева. – 2013. – № 2. – С. 15-27.
2. Дудкин М.В. Оборудование разрушения ударом льда на поверхности дорог и тротуаров: теория и эксперимент: Научное издание (монография) / М.В. Дудкин, Г.А. Гурьянов, А.И. Ким, В.В. Роговский. – Усть-Каменогорск: ВКТУ, 2020. – 209 с. ISBN 978-601-208-554-9.
3. Г.В. Кустарев, М.В. Дудкин, М. Млынчак, Г. Гурьянов, А. Ким, А. Вавилов. Разработка скалывающего рабочего органа мобильной машины для разрушения льда // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2018. – № 3 (54). – С. 67-74.

Получено 10.04.2020

---

МРНТИ 73.31

**А.А. Егоров**

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

**ТЕРМОДИНАМИКА ПРОЦЕССА ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ В РАБОЧЕМ ЦИКЛЕ ДВС**

*В статье рассматривается вариант математического описания процесса тепловыделения. В основе расчетного определения характеристики тепловыделения используются параметры состояния процесса выгорания смеси по текущим параметрам зоны продуктов сгорания, зоны горения и зоны смеси, не вступившей в процесс окисления. Приведены примеры расчетного определения текущего значения характеристики тепловыделения.*

*Мақалада жылу бөлу процесін математикалық сипаттау нұсқасы қарастырылады. Жылу бөлу сипаттамасын есептік анықтау негізінде жану өнімдері аймағының, жану аймағының және тотығу процесіне енген қоспа аймағының ағымдағы параметрлері бойынша қоспаның жану процесінің жай-күйінің параметрлері қолданылады. Жылу бөлу сипаттамасының ағымдағы мәнін есептік анықтау мысалдары келтірілген.*

*The article considers a variant of mathematical description of the heat dissipation process. In the calculation determining the heat release characteristics are used as the state parameters of process of burning of a mixture of the current parameters of the zone of combustion products, the combustion zone and the zone of the mixture is not entered into the oxidation process. Examples of the calculated determination of the current value of the heat dissipation characteristic are given.*

**Ключевые слова:** объем, давление, температура, доля, характеристика, тепловыделение.

Характер и динамику физико-химического процесса распространения пламени и выгорания топлива с учетом суммарного влияния всех присутствующих факторов и условий отражает характеристика тепловыделения. Характеристика тепловыделения представляет собой текущее значение доли выделившейся теплоты к текущему моменту положения коленчатого вала  $\chi = f(\varphi)$ . Определяется как отношение количества теплоты  $Q_\varphi$ , выделившейся к текущему моменту положения коленчатого вала к общему количеству теплоты  $Q_{ц}$ , которое должно выделяться в после полного окисления топлива, поступившего в объем цилиндра в составе топливно-воздушной смеси  $\chi = \frac{Q_\varphi}{Q_{ц}}$ . Следует понять и признать, что эта характеристика отражает характер физико-химического процесса высокотемпературного окисления углеводородных соединений в условиях ДВС, и его составляющими являются процессы теплового воспламенения, распространения пламени в турбулентной среде, выгорания смеси в зоне горения с сопутствующими конструктивными факторами, времени и другими. Поэтому при постановке вопроса его оптимизации и приближения к оптимальному варианту такие факторы и должны входить в основу построения характеристики

тепловыделения. Построения характеристики тепловыделения с использованием эмпирических или полуэмпирических зависимостей типа экспоненты с показателями характера ее протекания, на наш взгляд, приемлемы только при решении частных задач, а как должна протекать характеристика, чтобы обеспечить успешное решение топливной экономичности, снижение концентрации токсичных компонентов, снижение тепло напряженности элементов и другие [1, 2, 3, 4].

При условии гомогенности смеси и с учетом изменения параметров физического ее состояния характеристику тепловыделения можно представить как определение текущего значения массовой доли выгоревшего топлива в процессе сгорания.

Используя, общий закон сохранения массы и приняв, что общая суммарная массовая доля выгоревшего заряда  $m_x$  и рабочего заряда, не вступившего в реакцию высокотемпературного окисления  $m_2$  с выделением теплоты должна быть равна единице, запишем

$$m_x = m_1 + m_2 = m_1' + m_1'' + m_2 = 1, \quad (1)$$

где  $m_1$  - массовая доля заряда, вступившего в реакцию за передней границей зоны горения;  $m_1'$  - массовая доля заряда в зоне сгорания;  $m_1''$  - массовая доля продуктов сгорания выгоревшего заряда в зоне горения;  $m_2$  - массовая доля заряда, не вступившего в реакцию окисления.

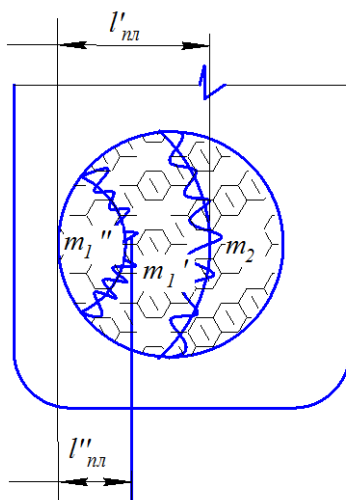


Рисунок 1 – Схема к расчету объемов текущего состояния заряда и характеристики тепловыделения

Исходя из общего уравнения состояния газа  $PV=mRT$  для каждой части текущего состояния рабочего заряда на участке сгорания, после простых преобразований можно записать

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{m_1' + m_1''}{m_2} = \frac{R_2 \cdot T_2 \cdot (y_1'' \cdot R_1' \cdot T_2' + y_1' \cdot R_1'' \cdot T_2'')}{R_1'' \cdot T_2'' \cdot R_1' \cdot T_2' \cdot (1 - y_1)}, \quad (2)$$

где  $y_1$  – относительный объем вступившего в реакцию рабочего заряда;  $y_2 = (1 - y_1)$  – относительный объем не вступившего в реакцию заряда;  $y_1' = \frac{V_1'}{V_T}$  – относительный объем текущего состояния зоны горения;  $y_1'' = \frac{V_1''}{V_T}$  – относительный объем текущего состояния зоны продуктов сгорания;  $V_T$  – общий текущий объем рабочего заряда;  $V_1$  – текущий объем рабочего заряда за передней границей зоны горения;  $V_1'$  – объем текущего состояния зоны горения;  $V_1''$  – объем текущего состояния зоны продуктов сгорания.

Из зависимости (2) выразим массовую долю  $m_2$ :

$$m_2 = m_1 \cdot \frac{R_1'' \cdot T_2'' \cdot R_1' \cdot T_2' \cdot (1 - y_1)}{R_2 \cdot T_2 \cdot (y_1'' \cdot R_1' \cdot T_2' + y_1' \cdot R_1'' \cdot T_2'')}. \quad (3)$$

Подставляя это выражение в равенство (1) получим зависимость для определения текущей массовой доли заряда, вступившего реакцию  $m_1$ :

$$m_1 = \frac{1}{1 + \frac{R_1'' \cdot T_2'' \cdot R_1' \cdot T_2' \cdot (1-y_1)}{R_2 \cdot T_2 \cdot (y_1'' \cdot R_1' \cdot T_2' + y_1' \cdot R_1'' \cdot T_2'')}}. \quad (4)$$

Упростим выражение для определения  $m_1$  и получим:

$$m_1 = \frac{1}{1 + \frac{k_2 \cdot (1-y_1)}{(y_1'' + k_1' \cdot y_1')}} = \frac{y_1'' + y_1' \cdot k_1'}{y_1'' + k_1' \cdot y_1' + k_2 \cdot (1-y_1)}, \quad (5)$$

где  $k_2 = \frac{R_1'' \cdot T_2''}{R_2 \cdot T_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1''}$  – коэффициент относительной плотности свежей смеси;  $k_1' = \frac{R_1'' \cdot T_2''}{R_1' \cdot T_2'} = \frac{\rho_2}{\rho_1'}$  – коэффициент относительной плотности смеси в зоне горения.

Выполнив того же рода преобразования, из равенства  $m_1 = m_1' + m_1''$  получим, что массовая доля заряда за зоной горения равна:

$$m_1'' = \frac{m_1}{1 + \frac{k_1' \cdot y_1'}{y_1''}} = \frac{m_1 \cdot y_1''}{y_1'' + k_1' \cdot y_1'} \quad (6)$$

и является частью полностью выгоревшего заряда.

Массовая доля заряда в зоне горения –

$$m_1' = \frac{m_1 \cdot y_1' \cdot k_1'}{y_1'' + k_1' \cdot y_1'}, \quad (7)$$

это часть рабочего заряда, который находится в зоне активного окисления и включает присутствие продуктов конечного, промежуточного окисления и свежей смеси.

Для оценки количества теплоты, выделившейся в зоне горения, достаточно ввести условный коэффициент выгорания смеси в активной зоне –  $\zeta_z$ .

Тогда массовая доля теплоты, пропорциональная условному присутствию продуктов сгорания в зоне горения, составит

$$m_{з.г.}'' = \zeta_z \cdot \frac{m_1 \cdot y_1' \cdot k_1'}{y_1'' + k_1' \cdot y_1'}, \quad (8)$$

а общая масса или доля сгоревшего заряда и доля выделившейся теплоты на текущий момент положения коленчатого вала  $\varphi^0$  п. к. в. составит

$$\chi(\varphi) = m_1'' + m_{з.г.}''. \quad (9)$$

Подставим значения  $m_1''$  и  $m_{з.г.}''$ :

$$\chi(\varphi) = \frac{y_1'' + y_1' \cdot k_1' \cdot \zeta_{з.г.}}{y_1'' + y_1' \cdot k_1' + k_2 \cdot (1-y_1)}. \quad (10)$$

Полученное выражение представляет аналитическую зависимость для формирования характеристики тепловыделения и отражает физическую взаимосвязь физико-химических параметров текущего состояния рабочего заряда, процесса распространения пламени и тепловыделения в результате высокотемпературного химического окисления топлива. Скорость распространения пламени и скорость выгорания совместно определяют характер и динамику тепловыделения.

Пример расчетного определения относительного объема заряда, вступившего в реакцию, и характеристики тепловыделения представлен на рис. 2.

Значение конечного количества так называемых «тепловых потерь» при известных общих и текущих параметрах и условиях протекания теплопередачи определяется с использованием известной зависимости Ньютона или ее модификации

$$Q_w = \int_{\varphi_0}^{\varphi_k} \alpha_k \cdot F \cdot (T_r - T_{ст}) \cdot d\varphi.$$

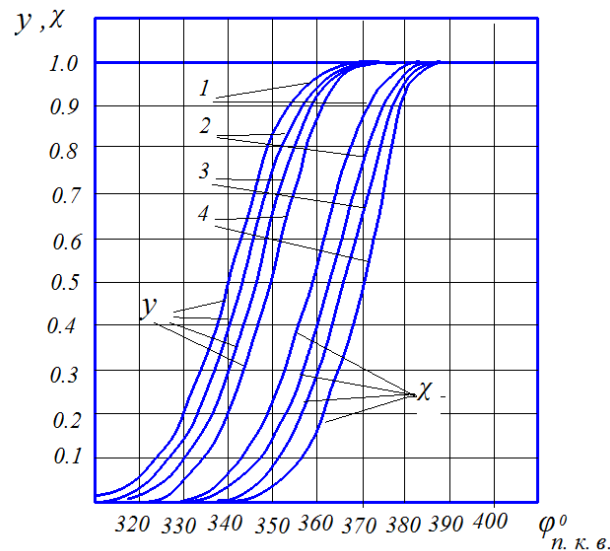


Рисунок 2 – Расчетные значения относительного объема заряда, вступившего в реакцию, и характеристика тепловыделения в процессе сгорания смеси для двигателя с полуклиновой камерой сгорания. Расчетный режим:  $n = 3400 \text{ мин}^{-1}$ ;  $\alpha = 1,0$ ; нагрузка – 100 %, при изменении опережения зажигания

При моделировании и анализе рабочего цикла ДВС особого внимания заслуживает зависимость, предложенная А.В. Костровым, как полученная на основе большого объема экспериментальных исследований по вопросам теплообмена в условиях рабочего процесса двигателей и теории подобия происходящих физико-химических процессов [5]:

$$\alpha_k = \frac{\lambda}{D_{\text{ц}}} \cdot c + k \cdot \frac{w_{\text{см}} \cdot \lambda \cdot P_c}{\mu \cdot R_f \cdot T_f},$$

где  $\lambda$  – теплопроводность газа;  $w_{\text{см}}$  – скорость смеси в сечении впускного клапана;  $\mu$  – динамическая вязкость газа;  $c$  и  $k$  – коэффициенты, зависящие от геометрических параметров двигателя;  $D_{\text{ц}}$  – диаметр цилиндра двигателя;  $P_c$  – текущее давление в цилиндре двигателя.

Температура стенок контактных поверхностей с газом принимается переменной по углу поворота коленчатого вала. Ее можно принять из выражения, предложенного нами на основе экспериментальных исследований А.В. Кострова [6]:

$$T_{\text{ст}} = 3 \cdot \sqrt{(T_f - 273)} + 273.$$

Определенную долю тепловых потерь в общей их сумме составляют тепловые потери, имеющие место в связи с присутствием лучистого теплообмена от пламени и газа

$$\alpha_{\text{л.пл.}} = 1,795 \cdot \frac{\left(\frac{T_z}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{\text{ст}}}{100}\right)^4}{T_z - T_{\text{ст}}} \quad \text{и} \quad \alpha_{\text{л.г.}} = 0,447 \cdot \frac{\left(\frac{T_z}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{\text{ст}}}{100}\right)^4}{T_f - T_{\text{ст}}}.$$

Общая доля тепловых потерь через поверхности стенок цилиндра и камеры сгорания составит

$$\chi_w = \frac{Q_w}{Q_{\text{ц}}} = \int_{\varphi_0}^{\varphi_z} \frac{\alpha_k \cdot F \cdot (T_f - T_{\text{ст}})}{Q_{\text{ц}}} \cdot d\varphi + \int_{\varphi_0}^{\varphi_z} \frac{\alpha_{\text{л.пл.}} \cdot F \cdot y_1 (T_z - T_{\text{ст}})}{Q_{\text{ц}}} \cdot d\varphi + \int_{\varphi_0}^{\varphi_z} \frac{\alpha_{\text{л.г.}} \cdot F \cdot (T_f - T_{\text{ст}})}{Q_{\text{ц}}} \cdot d\varphi,$$

где  $y_1$  – относительный объем заряда, вступившего в реакцию горения;  $\chi_i$  – характеристика полного тепловыделения;  $\chi_{\text{ак}}$  – характеристика активного тепловыделения;  $\chi_w$  – характеристика теплоотдачи.

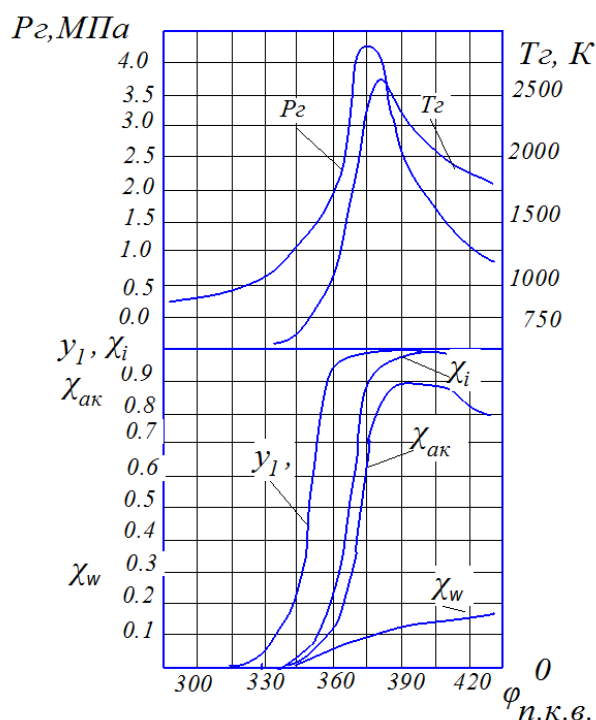


Рисунок 3 – Расчетные и экспериментальные результаты изменения основных параметров и тепловыделения в процессе сгорания

Физико-математическая модель описания процесса тепловыделения адекватно отражает физический процесс тепловыделения в рабочем цикле ДВС.

#### Список литературы

1. Кулешов А.С. Развитие многозонных моделей для расчета сгорания современных ДВС / А.С. Кулешов, Ю.М. Фадеев, А.А. Кулешов // Двигателестроение. – 2017. – №2. – С. 7-10.
2. Ковылов Ю. Л. Теория рабочих процессов и моделирование процессов ДВС: учеб. / Ю. Л. Ковылов. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2013. – С. 416
3. Орехов С.Н. Математическая модель рабочего процесса ДВС и ее идентификация. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 23 с.
4. Ильина М.А. и др. Моделирование процессов горения и теплообмена в ДВС с искровым зажиганием с учетом формы камеры сгорания. – М.: Инвест, 2009. – 211 с.
5. Костров А.В. Применение теории подобия для оценки конвективного теплообмена в карбюраторных двигателях // Автомобильная промышленность. – 1972. – №3. – С. 11-12.
6. Костров А.В. Зависимость коэффициента конвективной теплоотдачи в карбюраторных автомобильных двигателях от геометрических размеров цилиндра // Автомобильная промышленность. – 1971. – № 8. – С. 2-4.

Получено 10.04.2020

МРНТИ 87.17.91

**А.Т. Ермакова<sup>1</sup>, В.В. Запасный<sup>1</sup>, В.И. Матюхин<sup>2</sup>, Д.А. Асанов<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск, Казахстан<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»,  
г. Екатеринбург, Россия**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСАЖДЕНИЯ ПЫЛИ В ГАЗОХОДАХ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СИСТЕМ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ НА АКСУСКОМ ЗАВОДЕ ФЕРРОСПЛАВОВ**

*В статье приведена оценка влияния накопленного слоя пыли в газоходах Аксуского завода ферросплавов на работу системы пылеулавливания. Установлено, что накопление пыли в круглом газоходе диаметром около трех метров, высотой до 50 см допустимо и не оказывает заметного отрицательного влияния на работу системы пылеулавливания.*

*Мақалада Ақсу ферроқорытпа зауытының газ құбырларындағы шаңның жиналған қабатының шаң ұстау жүйесінің жұмысына әсерін бағалау келтірілген. Диаметрі үш метрге жуық, биіктігі 50 см дейінгі дөңгелек газ өткізгіште шаңның жиналуы мүмкін және шаң ұстау жүйесінің жұмысына елеулі теріс әсер етпейді.*

*The article provides an assessment of the influence of the accumulated dust layer in the flues of the Aksu ferroalloy plant on the operation of the dust collection system. It has been established that dust accumulation in a circular gas duct with a diameter of about three meters, a height of up to 50 cm is permissible, and does not have a noticeable negative effect on the operation of the dust collection system.*

**Ключевые слова:** газоход, пылеулавливание, осаждение пыли.

На работу систем пылеулавливания влияют такие факторы, как:

– температура очищаемых газов: нормальное функционирование пылегазоочистных аппаратов обеспечивается при температуре газов до 150-200 °С. Более высокая температура приводит к деформации металла, из которого выполнено дорогостоящее пылеулавливающее оборудование, что приводит к его преждевременному выходу из строя [1];

– физико-химические свойства пылей (фракция, пористость, влажность, температура, плотность и другие) [1, 2]. При этом все эти факторы взаимосвязаны между собой;

– объем очищаемых газов. У каждого пылеулавливающего аппарата есть нормативное количество объема очищаемых газов. В газах, эвакуируемых от закрытых рудовосстановительных печей на Аксуском заводе, содержание пыли колеблется от 0,9 до 2,5 г/м<sup>3</sup>. Запыленный газ поступает на очистку в рукавные фильтры типа ФРОП [2]. В процессе транспортировки газов в пылеуловитель пыль частично оседает в газоходе. При этом его «живое» сечение уменьшается, а аэродинамическое сопротивление системы возрастает [3].

Исследования послойного отложения пыли в газоходах, проведенные авторами [4] показывают, что увеличение слоя пыли в газоходе не является постоянным во времени, а носит переменный (циклический) характер, связанный с периодическим поступлением в электропечь мелкодисперсных или влажных материалов. Выполненный авторами химический анализ свидетельствует о снижении количества нелетучих компонентов шихты по длине газохода от печи до рукавного фильтра [4].

В процессе выполнения работы было рассмотрено удельное накопление пыли в газоходах ферросплавных печей №№ 61, 62, 11 и 12 на Аксуском заводе ферросплавов. При этом в зависимости от высоты слоя пыли от 10 до 50 см в газоходах различного диаметра выполнены расчеты (табл. 1).

Например, при накоплении пыли в газоходе печи № 61 (схема представлена на рис. 1) диаметром 3 м ( $R = 1,5$  м), высотой 0,5 м, площадь сегмента (накопления слоя пыли) составит:

$$S = 1,5^2 \times \arccos \frac{(1,5 - 0,5)}{1,5} - (1,5 - 0,5) \times \sqrt{21,5 \times 0,5 - 0,5^2} = 0,77 \text{ м}^2.$$

Насыпная плотность пыли составляет 2,315 т/м<sup>3</sup>, следовательно, масса пыли на один погонный метр трубы составит:  $0,77 \text{ м}^2 \times 2,315 \text{ т/м}^3 = 1,783 \text{ т}$ . Масса пыли в газоходе длиной 234 м составит:  $234 \times 1,783 = 417,222 \text{ т}$ .

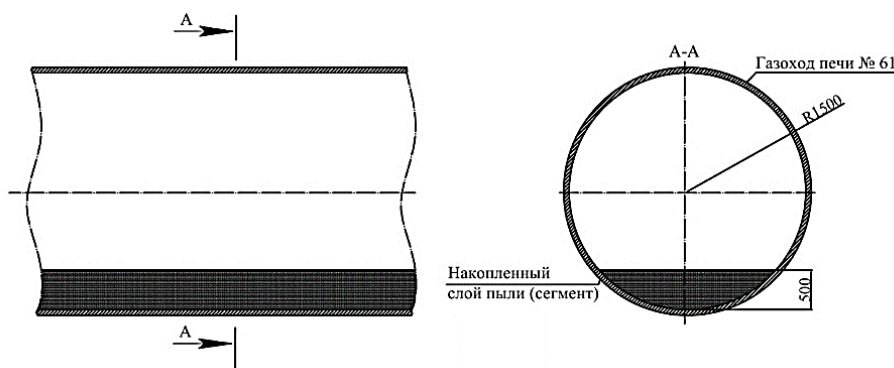


Рисунок 1 – Схема сечения газохода с накопленным слоем пыли

Таблица 1

Определение массы пыли в газоходе в зависимости от ее высоты

Высота слоя пыли (h), м	Скорость газа в газоходе с учетом величины накопленного слоя пыли, м/с	Площадь сечения накопленного слоя пыли, м <sup>2</sup>	Насыпная плотность пыли, т/м <sup>3</sup>	Масса пыли в слое, т на погонный метр трубы	Площадь сечения газохода, м <sup>2</sup>	Доля накопленного слоя пыли от площади круга	Масса пыли в газоходе, т
Газоход печи № 61 длиной 234 м, радиус – 1,5 м							
0,1	16,16	0,07	2,315	0,162	7,07	0,01	37,908
0,2	16,466	0,2		0,463		0,03	108,342
0,3	16,884	0,37		0,857		0,05	200,538
0,4	17,376	0,56		1,296		0,08	303,264
0,5	17,956	0,77		1,783		0,11	417,222
Газоход печи № 62 длиной 310 м, радиус – 1,5 м							
0,1	16,16	0,07	2,315	0,162	7,07	0,01	50,22
0,2	16,466	0,2		0,463		0,03	143,53
0,3	16,884	0,37		0,857		0,05	265,67
0,4	17,376	0,56		1,296		0,08	401,76
0,5	17,956	0,77		1,783		0,11	552,73
Газоход печи № 11 длиной 136 м, радиус – 1,8 м							
0,1	16,127	0,08	1,765	0,141	10,17	0,01	19,176
0,2	16,354	0,22		0,388		0,02	52,768
0,3	16,672	0,41		0,724		0,04	98,464
0,4	17,039	0,62		1,094		0,06	148,784
0,5	17,478	0,86		1,518		0,08	206,448
Газоход печи № 12 длиной 136 м, радиус – 1,8 м							
0,1	16,127	0,08	1,765	0,141	10,17	0,01	19,176
0,2	16,354	0,22		0,388		0,02	52,768
0,3	16,672	0,41		0,724		0,04	98,464
0,4	17,039	0,62		1,094		0,06	148,784
0,5	17,478	0,86		1,518		0,08	206,448

Для определения влияния накопившегося слоя пыли в газоходе на работу системы пылеулавливания выполнен расчет потерь аэродинамического напора и скорости движения газов (табл. 2).



Таблица 2

*Определение влияния слоя пыли в газоходе на изменение аэродинамического напора и скорости движения в нем газов*

Высота слоя пыли (h), м	Скорость газа в газоходе с учетом величины накопленного слоя пыли, м/с	Коэффициент Рейнольдса (Re)	Коэффициент сопротивления трения	Удельная потеря давления (R), Па	Потери давления на местные сопротивления (Z), Па	Потери аэродинамического напора (H), Па
Газоход печи № 61						
0	16	2082191,78	0,015	0,608	0,061	142,382
0,1	16,16	2103013,7	0,015	0,618	0,062	144,678
0,2	16,466	2142835,62	0,015	0,647	0,065	151,574
0,3	16,884	2197232,88	0,015	0,677	0,068	158,461
0,4	17,376	2261260,27	0,015	0,716	0,072	167,643
0,5	17,956	2336739,73	0,015	0,765	0,077	179,131
Газоход печи № 62						
0	16	2082191,78	0,015	0,608	0,061	188,607
0,1	16,16	2103013,7	0,015	0,618	0,062	191,648
0,2	16,466	2142835,62	0,015	0,647	0,065	200,781
0,3	16,884	2197232,88	0,015	0,677	0,068	209,905
0,4	17,376	2261260,27	0,015	0,716	0,072	222,069
0,5	17,956	2336739,73	0,015	0,765	0,077	237,284
Газоход печи № 11						
0	16	2498630,14	0,015	0,51	0,051	69,425
0,1	16,127	2518463,01	0,015	0,51	0,051	69,425
0,2	16,354	2553912,33	0,015	0,53	0,053	72,094
0,3	16,672	2603572,6	0,015	0,549	0,055	74,772
0,4	17,039	2660884,93	0,015	0,579	0,058	78,774
0,5	17,478	2729441,1	0,015	0,608	0,061	82,777
Газоход печи № 12						
0	16	2498630,14	0,015	0,51	0,051	69,425
0,1	16,127	2518463,01	0,015	0,51	0,051	69,425
0,2	16,354	2553912,33	0,015	0,53	0,053	72,094
0,3	16,672	2603572,6	0,015	0,549	0,055	74,772
0,4	17,039	2660884,93	0,015	0,579	0,058	78,774
0,5	17,478	2729441,1	0,015	0,608	0,061	82,777

**Выводы.** Исходя из механической прочности газохода и надежности сооружений, допустимый слой накопленной в нем пыли не должен превышать по высоте сегмента 0,5 м. Такое наличие слоя пыли практически не влияет на режим и показатели работы систем пылеулавливания.

Например, при максимальной высоте слоя пыли 0,5 м скорость движения газа увеличивается с 16,0 до 17,96 м/с, при этом гидравлическое сопротивление возрастает всего на 3,7 мм вод. ст. (36,7 Па).

#### Список литературы

1. Афанасьев А.Д., Кондратьев В.В., Корняков М.В., Николаев В.Н., Ржецкий Э.П. Технологические решения по энергосбережению и снижению капиталоемкости систем газоудаления и газоочистки алюминиевых производств // *Металлург.* – 2013. – Номер 9. – Стр. 27-30.
2. D.A. Asanov, V.V. Zapasny, A.T. Yermekova, G.R. Maratova, A.A. Ivanov, N.I. Cherepanov. Current status of dust collection systems in Aksu ferroalloy plant smelting shop 1 and functional improvement to these systems // *Metallurgist.* – 2018. – Vol. 62. – P 391-400.

3. Баранов А.Н., Шахрай С.Г. Расчетная модель очистки газоходов от пылевых отложений закрученным потоком. // Вестник ИргТУ. – 2008. – Номер 4. – С. 87-90.
4. Петров А.Ф., Анапольская С.Г., Келехсаев А.В., Гагиева З.А., Матвеева С.И. Исследование настывей, образующихся в газоходах системы очистки газов обеднительной электроплавки // Цветные металлы. – 2013. – Номер 6. – С. 27-30.

Получено 10.04.2020

МРНТИ 47.13.07

**Б.А. Жаутиков, Г.С. Даирбекова, В.И. Романов, Н.Н. Зобнин**

Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау

#### **СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ**

*В статье приведен обзор основных современных достижений и перспективных решений в области применения последних разработок, связанных с исследованиями электродных материалов для литий-ионных аккумуляторов (ЛИА). С развитием электронных технологий существует необходимость в разработке стабильных, мощных и долговечных аккумуляторов. В статье приведены примеры применения твердотельных аккумуляторов, литий-серных аккумуляторов, замены традиционного анода на графен и кремний. Также приводится обоснование использования кремния в качестве анода, где в качестве электрода в ЛИА могут быть использованы наноструктурированные материалы, такие как: тонкие пленки кремния, кремниевые нанопроводы, наночастицы, нанотрубки и др.*

*Мақалада литий-ионды аккумуляторлар (ЛИА) үшін электродты материалдарды зерттеуге байланысты соңғы өзгертмелерді қолдану саласындағы негізгі заманауи жетістіктер мен перспективалы шешімдерді шолу келтірілген. Электрондық технологиялардың дамуымен тұрақты, қуатты және берік аккумуляторларды өзірлеу қажеттілігі бар. Мақалада қатты денелі аккумуляторларды, литий-күкірт аккумуляторларын қолдану мысалдары және дәстүрлі анодты графенге және кремнийге ауыстыру мысалдары келтірілген. Сонымен қатар, кремнийді анод ретінде пайдалану негіздемесі келтірілген, онда ЛИА электрод ретінде кремнийдің жұқа пленкалары, кремнийлі нанотүтікшілер, нанобөлшектер, нанотрубкалар және т.б. сияқты наноструктуралық материалдар пайдаланылуы мүмкін.*

*Article provides an overview of the main modern achievements and promising solutions in the field of application of the latest developments related to the study of electrode materials for lithium-ion batteries (LIA). With the development of electronic technology, there is a need to develop stable, powerful and durable batteries. The article provides examples of the use of solid-state batteries, lithium-sulfur batteries, replacing the traditional anode with graphene and silicon. The rationale for using silicon as an anode is also given, where nanostructured materials such as thin films of silicon, silicon nanowires, nanoparticles, nanotubes, etc. can be used as an electrode in LIA.*

**Ключевые слова:** анод на основе кремния, литий-ионные аккумуляторы, кремниевый электрод, кремний, наноструктурированные материалы.

Одним из основных источников и транспортеров тока являются литий-ионные аккумуляторы (ЛИА). Однако удельного энергопотребления современных ЛИА недостаточно для обеспечения автономности портативных устройств и электромобилей [1]. Для повышения общих характеристик батареи предполагается замена или повышение энергоемкости одного из электродов.

Для обеспечения безопасности и повышения срока службы батареи требуется разработка высокоэффективных компонентов, при этом большинство ученых сосредоточено на исследованиях, связанных с заменой или дополнением электродов или электролитов новыми наноструктурами [2].

Одним из основных анодных материалов, представленных на рынке, является графит, емкость которого невелика и составляет 372 мАч/г. Поэтому исследование в области замены графитовых анодов на более перспективные материалы является актуальной задачей.

В настоящее время существует несколько предлагаемых решений по замене традиционных литий-ионных аккумуляторов на более современные решения:

1. Твердотельные аккумуляторы (all-solid-state batteries). Технология, которая использует твердые электроды и твердые электролиты, вместо жидких или полимерных электролитов, в литий-ионных или полимерных литий батареях [3].

В отличие от аккумуляторов с жидким электролитом, твердотельные аккумуляторы имеют мощность и напряжение на порядок выше, их конструкция пожароустойчива, что позволяет использовать их при более высоких температурах.

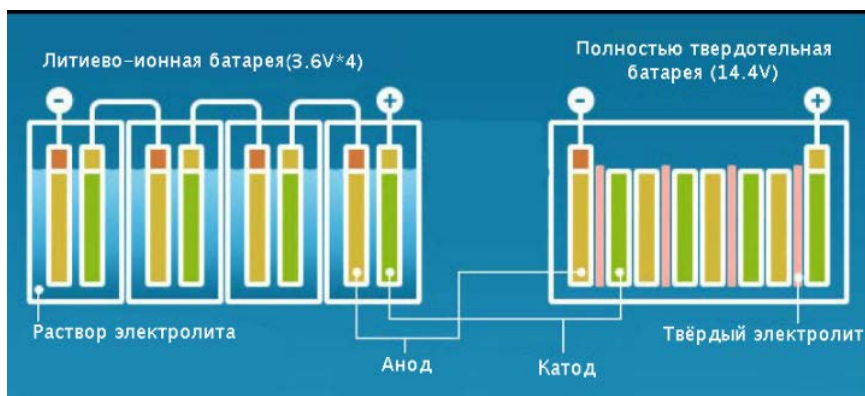


Рисунок 1 – Отличие твердого электролита от жидкого электролита в ЛИА

2. Литий-серные аккумуляторы. Главной отличительной характеристикой таких аккумуляторов является то, что жидкий катод, содержащий серу, отделён от электролита специальной мембраной [4].

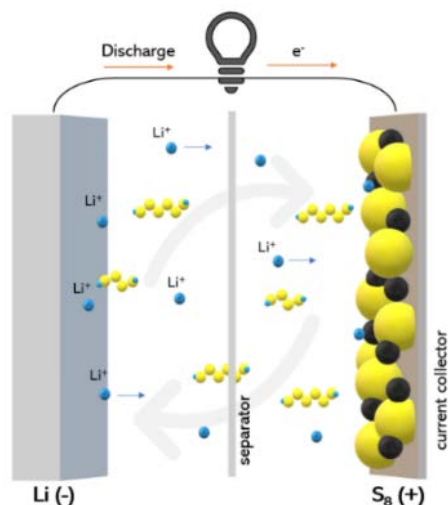


Рисунок 2 – Пример выполнения серной батареи

Одним из основных преимуществ литий-серных аккумуляторов является их потенциально высокая плотность энергии [5]. Наблюдается, что при одинаковых размерах накопление энергии в литий-серных батареях в 5-10 раз больше, чем в литий-ионных батареях. Однако одной из проблем, которая ограничивает коммерциализацию ЛИА, является пресловутый «челночный эффект», связанный с растворением и бесконечной транспортировкой / челноком / лития

полисульфидов (Li-S) между катодом и анодом во время окислительно-восстановительного процесса. Эти явления значительно снижают эффективность использования серы и кулона, вызывая саморазряд и быстрое уменьшение емкости батареи [6].

### 3. Анодные материалы на основе графена.

Использование графена в качестве анодного материала в ЛИА вызвано, безусловно, его физическими и механическими свойствами, такими как: развитая поверхность, высокая электропроводность, прочность, пластичность и тд. Современным решением повышения емкости электродных материалов является придание разнообразных форм графену. Например, в работе [7] возможно создание сфер из чешуек графена.

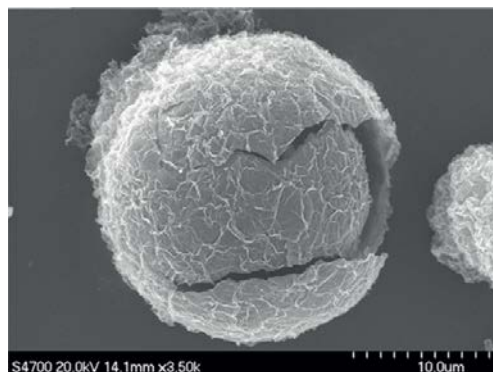


Рисунок 3 – SEM микрофотография сферы из чешуек оксида графена [7]

4. Анодные материалы на основе кремния. Одним из перспективных материалов при производстве ЛИА является кремний. Его теоретическая литиевая емкость достигает 4140 мАч/г [1]. Но, несмотря на это, кремний во время процессов литирования и делитирования расширяется, что приводит к необратимым потерям емкости [1].

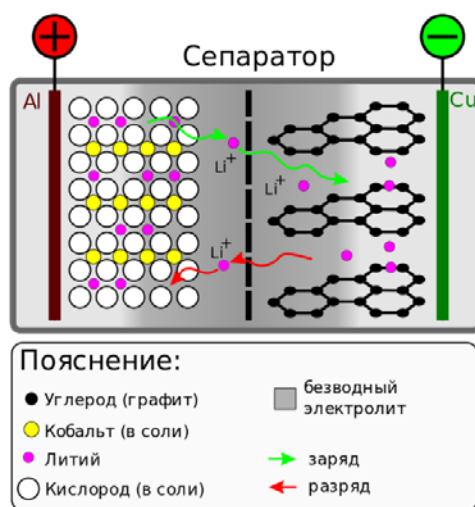


Рисунок 4 – Схема ЛИА

Обеспечение длительной работы кремниевых анодов возможно благодаря переходу к наноструктурированным материалам: тонким пленкам кремния, кремниевым нанопроводам, наночастицам, выращенным нанотрубкам и пористым структурам на основе кремния, а также создание композитным материалам, в основе которых выступают различные углеродные наноструктуры.

Любые исследования кремниевых анодов литий-ионных аккумуляторов, подвергшихся циклическим испытаниям, проводятся методами электронной микроскопии, рентгеновского микроанализа, комбинационного рассеяния света и др.

Обзор последних исследований в области аккумуляторов показывает, что технология создания ЛИА совершенствуется, учеными предлагаются все более перспективные решения для создания источника накопления энергии с высокой плотностью и низким саморазрядом.

#### Список литературы

1. Евщик Е.Ю. Анодные материалы на основе кремния для литий-ионных аккумуляторов: дис... канд. хим. наук: 02.00.04 – физическая химия, химические науки / Евщик Е.Ю. - Черноголовка, 2016.- 163 с.
2. Wang, X. et al. High-density monolith of N-doped holey graphene for ultrahigh volumetric capacity of Li-ion batteries. *Adv. Energy Mater.* 6,1502100 (2016).
3. Li Li. Nanostructured Anode Materials with high capacity for rechargeable energy storage / Li Li. // The University of Wollongong thesis collection, 2014 - 246 p.
4. Crabtree, G. Perspective The energy-storage revolution. *Nature* 526, S92 (2015).
5. Барзуков С.Н., Гуськов А.В., Зиновьев Е.В., Шиганов Д.А., Шорин А.А., Эйдинов А.А. Накопители электрической энергии для автотранспортных средств с комбинированными энергоустановками // Труды НАМИ (Центр. ордена Трудового Красного Знамени научно-исслед. автомобильный и авомоторный институт). – М.: НАМИ, 2013. – С. 62-80.
6. Fang, M., Liu, X., Ren, J. et al. Revisiting the anchoring behavior in lithium-sulfur batteries: many-body effect on the suppression of shuttle effect. *npj Comput Mater* 6, 8 (2020).
7. Yao R, Zhao D, Bai L, Yao N, Xu L. Facile synthesis and electrochemical performances of hollow graphene spheres as anode material for lithium-ion batteries. *Nanoscale Research Letters*, 2014, 9:368. DOI:10.1186/1556-276X-9-368.

Получено 10.04.2020

---

МРНТИ 53.03.03

**B.S. Kelamanov, E.U. Zhumagaliev, E.K. Samuratov, A.M. Akuov, G.S. Yerekeyeva**  
K. Zhubanov Aktobe regional state university, Aktobe

#### **ANALYSIS OF THE THERMODYNAMIC CALCULATIONS FOR THE SMELTING OF NICKEL-CHROMIUM CAST IRON IS MADE USING THE PROGRAM COMPLEX "ASTRA-4"**

*The article deals with the study of thermodynamic calculations of smelting Nickel-chromium-containing iron using the software complex «ASTRA-4». Studies of thermodynamic calculations using the software complex «ASTRA-4» were installed main existing condensed phase (Ni, Co, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, Cr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>C, C, SiC, Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>, SiO<sub>2</sub>, MgSiO<sub>3</sub>, Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, CaSiO<sub>3</sub>, Ca<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>7</sub>, MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and Ca<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), characterizing the compositions of produced alloys. The characteristics of different existing phases and their dynamics at different temperature intervals were investigated.*

Мақалада «АСТРА-4» бағдарламалық кешенін қолдану арқылы никель-хромды шойын балқытудың термодинамикалық есептерін зерттеу мәселелері қарастырылған. «АСТРА-4» бағдарламалық кешенін пайдалана отырып, термодинамикалық есептеулерді зерттеу нәтижесінде балқытылатын қорытпалардың құрамын сипаттайтын негізгі конденсацияланған фазалар (Ni, Co, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, Cr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>C, C, SiC, Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>, SiO<sub>2</sub>, MgSiO<sub>3</sub>, Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, CaSiO<sub>3</sub>, Ca<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>7</sub>, MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> және Ca<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) орнатылды. Әр түрлі қолданыстағы фазалардың сипаттамалары және олардың өртүрлі температуралық аралықтарда өзгеру динамикасы зерттелді.

В статье рассмотрены вопросы исследования термодинамических расчетов выплавки никель-хромсодержащего чугуна с использованием программного комплекса «АСТРА-4». В результате исследований термодинамических расчетов с использованием программного комплекса «АСТРА-4» были установлены основные существующие конденсированные фазы (Ni, Co, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, Cr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>C, C, SiC, Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>, SiO<sub>2</sub>, MgSiO<sub>3</sub>, Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, CaSiO<sub>3</sub>, Ca<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>7</sub>, MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> и Ca<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), харак-

*термизирующие составы выплаиваемых сплавов. Были исследованы характеристики разных существующих фаз и их динамика изменения при различных температурных интервалах.*

**Keywords:** *hermodynamic calculations, thermodynamic modeling, condensed phase, existing phases.*

Calculation of the thermodynamic equilibrium of arbitrary multicomponent systems is to determine all the equilibrium parameters, thermodynamic properties, as well as the chemical and phase composition of the components. With increasing temperature, when any changes of state are accompanied by phase, polymorphic and chemical transformations, this problem is immeasurably more complex than in the formulation of classical thermodynamics, where calculations are performed for normal conditions. However, due to the fact that the fundamental thermodynamic laws remain valid for any system, their correct application allows to solve the problem of calculating the thermodynamic equilibrium in the General case. Consideration within the framework of a single approach of significantly different processes and States is possible only with a known formalization of the model description of the studied objects. Any considered thermodynamic system will be characterized by relative and absolute content of chemical elements (mol/kg). According to the condition, it remains unchanged in the establishment of equilibrium from an arbitrary state and is sufficient to describe the system as a material object.

The program complex «ASTRA-4» was developed in MSTU. Bauman and adapted for the calculation of equilibria in multicomponent metallurgical systems by the Institute of metallurgy of Uro RAS [1,2]. In accordance with the method of calculations, the composition corresponding to the maximum entropy condition of an isolated system is recognized as equilibrium.

The equilibrium state is described by:

- the composition of the system (in moles, kg, wt. %, partial pressures);
- a set of six thermodynamic parameters: the pressure  $P$ , ATM. temperature  $T$ , K;  $V$ , volume,  $m^3$ ; total internal energy  $U$ , J; the total enthalpy,  $I$ , J; the entropy  $S$ , J/K.

All other characteristics are calculated by known thermodynamic relations. The initial data for the calculation are:

- the initial composition of the system (in the recovery of ores - is the composition of the charge); - two of the six parameters listed above, for example,  $P = 1$  ATM,  $T = 1550$  °C;
- temperature dependences of the total enthalpy  $I$  and entropy  $S$  of individual substances (this information is included in the thermodynamic data base of the ASTRA-4 complex).

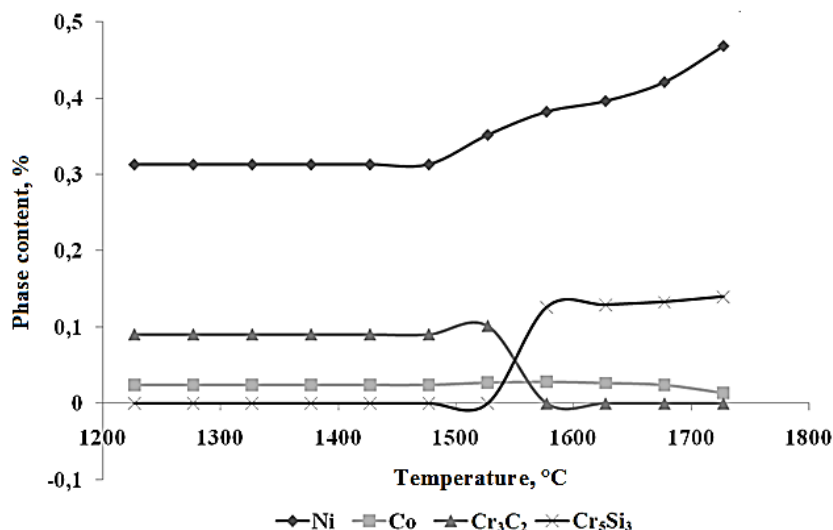
Similar analyses of thermodynamic calculations were carried out in [3, 4] for the study of processes occurring in Si-Al-O-C and Ba-Al-O-C. For the analysis of carbon thermal reduction, the method of complete thermodynamic modeling (PTM) of metallurgical processes implemented in the computer system – PC «ASTRA» with the database ASTRA BAS [5] was used with the addition of its thermodynamic-diagram method of constructing Gibbs concentration triangles [6].

For the analysis of thermodynamic calculations of Nickel-chromium-containing iron smelting process we used the method of complete thermodynamic modeling of metallurgical processes (PTM) in the software complex «ASTRA-4».

The program is based on the method of complete thermodynamic analysis (PTA), based on the principle of maximum entropy and taking into account all the known properties of the reacting components that make up the thermodynamic system. Full thermodynamic modeling (PTM) for the smelting of Nickel-chromium-containing iron was carried out in the temperature range of 1227-1727 °C and at a pressure of  $P = 0,1$  MPa. Based on the data obtained, graphs of the formation, transition and decomposition of the main existing phases with an increase in temperature to 1727 °C. Graphs of changes in the composition of the various condensed phases are presented in figures 1-3.

Analysis of the curves from the graph shown in figure 1 shows that the formation and some changes in the content of the condensed phases in the smelting of Nickel-chromium-containing iron occurs in the temperature range of 1227-1727 °C. for Example, the formation of a condensed phase – elemental Nickel occurs at a temperature of 1227 °C, and to a temperature of 1477 °C has a stable content in the range of 0,30-0,31 %. The increase in temperature from 1477 °C to 1727 °C is accompanied by an increase in its content to 0,46 %. This is due to the intensity of the process of reducing Nickel to a metallic state with an

increase in temperature, as well as a decrease and decomposition of carbon-containing phases. In parallel with Nickel, cobalt with an average content of 0,02 % also passes into the condensed phase, which is also formed at a temperature of 1227 °C and to a temperature of 1727 °C its content practically does not change quantitatively. The content of the phase of chromium carbide  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  in the temperature range 1227-1527 °C is almost unchanged, and averages 0,09 %. An increase in temperature from 1477 to 1527 °C leads to an increase in this phase in the range from 0,09 to 0,11 %. Further temperature rise above 1527 °C leads to decomposition of this phase. The  $\text{Cr}_5\text{Si}_3$  phase appears only at a temperature of 1527 °C and has a stable content of 0,12-0,13 %, starting from a temperature of 1577 °C. This is due to the fact that at an increase in temperature of more than 1527 °C, the  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  phase decomposes and chromium passes into a new condensed phase  $\text{Cr}_5\text{Si}_3$ , and carbon passes into a gaseous phase in the form of carbon monoxide.

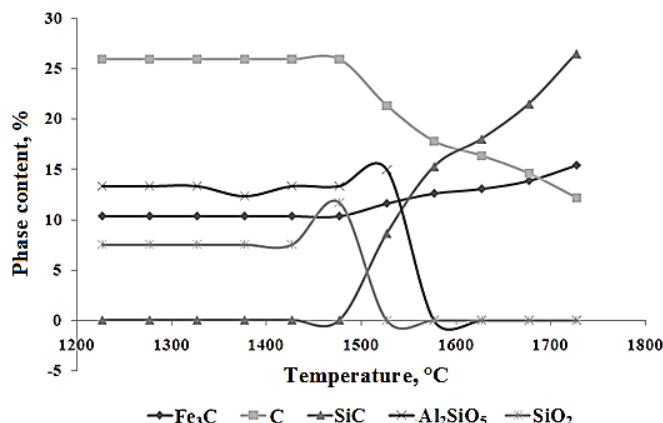


Picture 1 – Transition of the main phases to the condensed phase with increasing temperature

A review of the condensed phase change graph in figure 2 shows the change in the following major phases:  $\text{Fe}_3\text{C}$ , C,  $\text{SiC}$ ,  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ , and  $\text{SiO}_2$ . As can be seen from the graph in figure 2, the carbon phase content curve is stable in the temperature range of 1227-1477°C and averages 25%. Above the temperature of 1477°C and up to 1727°C, a decrease in the carbon content to 12% is observed, which is explained by its expenditure on the formation of iron and silicon carbides, as well as oxidation to carbon oxide during reduction processes and removal to the gas phase.

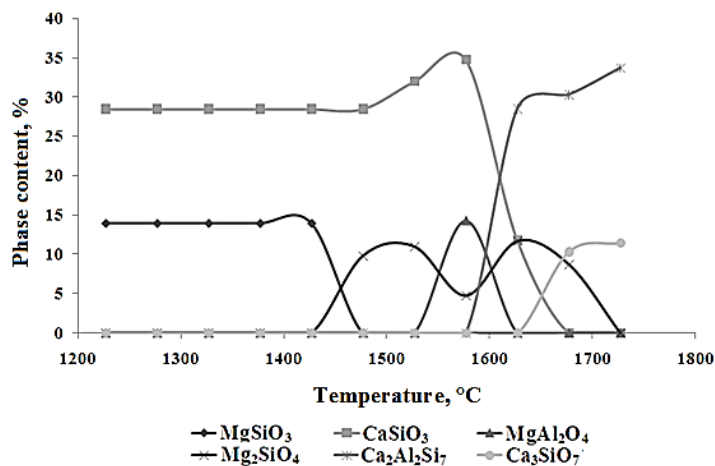
The content of aluminum silicate ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ) is also stable in the temperature range of 1227-1477 °C and averages 13-14 %. In the interval 1477-1527 °C observed increase in the content of this phase to 15%. Further, at a temperature of 1577 °C, this phase disappears, which is explained by its decay to form silicon carbide and aluminum oxide. The content of the phase ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) in the temperature range 1227-1477°C is 10-11%, with an increase in temperature to 1727 °C slightly increases the content of iron carbide to 15%. The phase of silicon dioxide ( $\text{SiO}_2$ ) in the temperature range 1227-1427 °C is stable at 7.5%. At temperatures of 1427-1477 °C, an abnormal jump in the content of this phase to 11% is observed. Further to the temperature of 1577 °C, a sharp drop in the content of silicon dioxide with the disappearance of this phase is noted. This is probably due to the beginning of the process of silicon dioxide reduction by carbon, with the formation of condensed silicon carbide and gaseous carbon monoxide. In addition to the above phases, at a temperature of 1477 °C, a new phase appears-silicon carbide ( $\text{SiC}$ ), the content of which increases sharply at temperatures of 1477-1727 °C. The content of this phase in the range of the above temperatures increases from 0 to 26 %.





Picture 2 – Transition of the main phases to the condensed phase with increasing temperature

The graph analysis in figure 3 also reveals an interesting picture of the formation and decomposition of the following condensed phases: MgSiO<sub>3</sub>, Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, CaSiO<sub>3</sub>, Ca<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>7</sub>, MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, and Ca<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.



Picture 3 – Transition of the main phases to the condensed phase with increasing temperature

As can be seen, these condensed phases are intermediate compounds consisting mainly of calcium and magnesium silicates and aluminates, i.e. these phases are the basis of the slag formed. Analysis of graphs of their content with increasing temperature shows that:

- calcium silicate (CaSiO<sub>3</sub>) is stable at temperatures of 1227-1577 °C with an average content of 30 %. Above the temperature of 1577 °C there is a sharp drop in its content. At a temperature of 1677 °C, the content of this phase approaches zero;

- calcium silicate (Ca<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) appears at a temperature of 1627 °C with a maximum content of 12 % at a temperature of 1627 °C, further up to a temperature of 1727 °C, the content of this phase is stable at 12 %;

- calcium aluminosilicate (Ca<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>7</sub>) is formed at a temperature of 1577 °C and the content of this phase increases to 30% at a temperature of 1627 °C. Further, the content of this phase up to a temperature of 1727°C is stable and averages 33 %;

- condensed phase (MgSiO<sub>3</sub>) - magnesium metasilicate, quantitatively stable with a content of 14% in the temperature range of 1227-1427 °C. In the temperature range of 1427-1477 °C, a decrease in the content of this phase with its disappearance at a temperature of 1477 °C;

– forsterite phase ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ) exists only in the temperature range 1427-1727 °C with a variation in the content within 5-11%, an average of 7.5%;

– the magnesium aluminate phase ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) exists at a temperature range of 1527-1627 °C with a maximum temperature of 1577 °C at almost 15 %. In General, the thermodynamic analysis with the involvement of the ASTRA-4 software complex shows the adequacy of the calculated data to practical results.

Studies of thermodynamic calculations using the software complex «ASTRA-4» were installed main existing condensed phase (Ni, Co,  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ,  $\text{Cr}_5\text{Si}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{C}$ , C, SiC,  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgSiO}_3$ ,  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ,  $\text{CaSiO}_3$ ,  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_7$ ,  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  and  $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ ), characterizing the compositions of produced alloys.

#### List of used literature

1. Nonferrous metallurgy of capitalist countries in 1965. – M.: Central research Institute of information and technical and economic research of nonferrous metallurgy, 1966. – 112 p.
2. VNIKI Bulletin of foreign commercial information. From 20.04.99 №46 (On the world Nickel market).
3. Preobrazhensky B.P., Kochergina D.G. Nonferrous metallurgy of Japan. – M.: TIICM, 1960. – 140 s.
4. Andreev V.D. Nonferrous metallurgy of some countries in Asia and Africa. – Moscow: Central research Institute of information and technical and economic research of non-ferrous metallurgy, 1963. – 128 c.
5. Metal Bulletin, 1964. Aug. 16. – №4914. – P. 20.
6. Erzmetall, 1964. – H. 3. – P. 165.

Получено 10.04.2020

---

MFTAA 44.29.31

**М.Я. Клецель<sup>1</sup>, А.Г. Калтаев<sup>1</sup>, О.М. Талипов<sup>1</sup>, А.М. Акаев<sup>2</sup>**

С. Торайғыров ат. Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

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

#### **СТАТОР ОРАМАСЫНДА ОРАМАЛЫ ТҰЙЫҚТАЛУ КЕЗІНДЕ КЕРНЕУІ 1 КВ ТӨМЕН ЭЛЕКТРҚОЗҒАЛТҚЫШТАРЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ**

*Төменвольтті электрқозғалтқыштар статорының бір фазасының орамдық тұйықталуымен эксперименттер жүргізілді. Фазалар тоғының арасындағы бұрыштарды бақылай отырып, егер фазадағы орамдардың 4 %-дан астамы тұйықталса, орамдық тұйықталуларды анықтауға болатынын көрсететін жаңа ғылыми нәтижелер алынды.*

*Проведены эксперименты с витковыми замыканиями одной фазы статора низковольтных электродвигателей. Получены новые научные результаты, показывающие, что контролируя углы между токами фаз можно выявлять витковые замыкания, если замкнуто более 4 % витков в фазе.*

*Experiments with winding closure of one phase of the stator of low-voltage electric motors are carried out. New scientific results have been obtained showing that by controlling the angles between the phase currents, it is possible to detect loop closures if more than 4% of the turns in the phase are closed.*

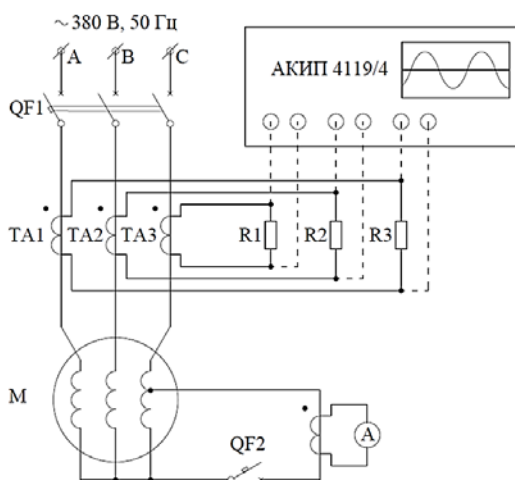
**Түйін сөздер:** электр қозғалтқышы, статор, орамдық тұйықталу.

Электрқозғалтқыштар (ЭҚ) ең көп таралған электрқозғалтқыштар болып табылады. Оларды өнеркәсіпте көп жылдар бойы пайдалану нәтижесінде анықталды. ЭҚ-ның ең осал жері статорды орау және окшаулау болып табылды, олардың үлесіне ЭҚ жөндеумен байланысты барлық еңбек шығындарының 80 %-на дейін келеді [1, 2]. Статор орамындағы барлық зақымданулар айналмалы тұйықталудан (АТ) немесе жерге тұйықталудан басталатыны анықталды [3], сондықтан, олар фазааралық тұйықталуларға немесе жерге қос тұйықталуларға ауысқанға дейін, ерте сатыда зақымдануларды анықтау жақсы болар еді. Кернеуі 380 В желіден қорек алатын төмен вольтты ЭҚ жерге тұйықталу кезінде фазааралық тұйықталудан қорғаныстармен ажыратылады және қазіргі

уақытта АТ-дан қарапайым және арзан қорғаныс жоқ [4]. Бұл жұмыстың мақсаты төмен вольтті ЭҚ-тан қорғаныс әрекет етуі мүмкін параметрлерді анықтау болып табылады.

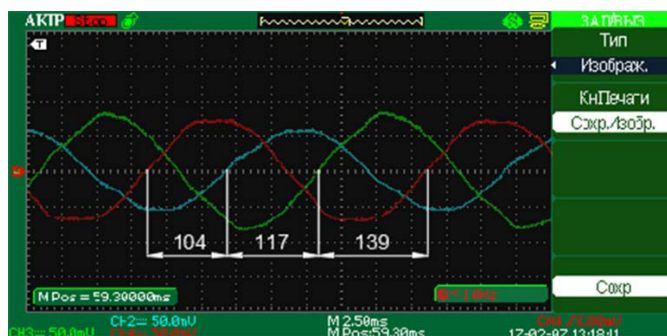
ЭҚ фазалар арасындағы жылжу шамасы мен бұрышына әсер ететінін орнату үшін, әртүрлі қуат пен айналу жиілігінен төмен кернеуліктегі жеті ЭҚ эксперименттер жүргізілді. Бұл ретте бір фазадағы АТ ғана қаралды. Эксперименттер жаңа электр қозғалтқыштарда жүргізілді: АИР 63В2У2, АИР 71А4, АИР 80В6, АИР 80А4У2, АИР 100S4У3, АИР 90L2У3 и АО-41-4 (ескі үлгідегі). Бұл ЭҚ статорының орамасы бір қабатты орындалған.

1-суретте эксперименталды стендтің құрылымдық сұлбасы көрсетілген. Қуат көзі ретінде кернеуі үш фазалы айнымалы ток желісі қолданылады, оған QF1 автоматты ажыратқыш арқылы М электрқозғалтқышы қосылған. Екінші орам R1-R3 резисторларының контактілеріне қосылған, сәйкесінше, АКИП-4119/4 төрт арналы осциллографқа қосылған (2-сурет). М электрқозғалтқыштың нөлдік сымы QF2 Автоматты ажыратқышқа шығарылды. ЭҚ ішінде қысқа тұйықталған контурды жасай отырып екінші контакт ЭҚ фазасының орамына қосылған. Қысқа тұйықталған контурдың кесіндісіне амперметрмен ток трансформаторы қосылған (Fluke 87V типті мультиметр). Эксперименттер жүргізу кезінде осциллограф пен мультиметрді жергілікті метрологиялық қызметтер тексерді.



1-сурет – Зертханалық қондырғының құрылымдық схемасы

Электрқозғалтқышты автоматты ажыратқышпен қосу кезінде ЭҚ токтарының шамасы мен фазасы туралы ақпарат осциллограф дисплейінде бейнеленеді. Содан кейін QF2 автоматты ажыратқышпен қысқа тұйықталған контур тұйықталады, ол ЭҚ-ның бір фазасы болып табылады. Бұл ретте бір фазаның қысқа тұйықталған орамдарының пайыздық мөлшері 0-ден 50 %-ға дейін өзгерді.



2-сурет – Осциллограмма, АИР71А4 электрқозғалтқыштың бір фазасының айналмалы тұйықталуы кезінде ( $w_{a,\%} = 10 \%$ )

1-кестеде АИР 71А4 электрқозғалтқышы үшін эксперименттер нәтижелері келтірілген. Олар бір фазадағы орамдардың тұйықталуы кезінде ЭҚ шығысындағы ток шамасы өзгеріссіз қалады, ал қысқа тұйықталған контурдағы ток фазаларындағы токтан 3-8 есе асып түседі [3, б. 54; 5; 6] (бұл окшаулаудың термиялық ескіруін тездетеді [7, 8]), сонымен қатар фазалар токтарының арасында ығысу болады (2-сурет).

1-кесте

*АИР 71А4 электрқозғалтқышындағы эксперименттер нәтижелері  
(А фазасындағы орамдық тұйықталу)*

Тұйықталған орамдардың саны, $w_{\alpha, \%}$	Ток шамасы, А				Фазалар токтарының арасындағы жылжу бұрышы, °		
	А фаза-сында	В фаза-сында	С фаза-сында	Тұйықталған контурда	А-В	В-С	С-А
0	1,26	1,26	1,26	0	120	120	120
5	1,26	1,26	1,26	10,6	129	113	118
10	1,81	1,62	1,08	13,2	139	104	117
15	2,45	2,04	1,33	14	146	90	124
20	3,01	2,41	1,54	14	145	86	129
25	3,56	2,55	1,71	13	144	82	134
30	4,51	3,21	1,97	14	146	78	137
35	5,42	3,54	2,33	14,8	154	69	137
40	6,23	4,03	2,67	15,8	151	59	150
50	6,39	5,13	3,37	16,4	149	57	153

2-кестеде 5, 10 және 15 %-ға тең тұйықталған орамдардың саны кезінде барлық жеті ЭҚ эксперименттерінің нәтижелері келтірілген (тұйықталған орамдардың аз саны оларға сезімталдық салдарынан ерекше қызығушылық тудырады, себебі ЭҚ статорының пазасына 24 паз кезінде фаза орамасының барлық орамдарының 25 %, ал 36 паз кезінде – 16,7 % және т.б. жатады). АИР және АО сериялы алты ЭҚ-да жүргізілген эксперименттер фазалар арасындағы токтың жылжу бұрыштарының төмен вольтты ЭҚ статорының бір фазасының тұйық орамдарының санына тәуелділігі қысқа тұйықталған контурдағы токтың ұлғаюы сияқты ұқсас сипатқа ие екендігін көрсетті.

2-кесте

*5, 10 және 15 % тұйық орамдағы фазалар тогының арасындағы жылжу бұрышы*

Тұйықталған орамалардың саны, $w_{\alpha, \%}$	5 %			10 %			15 %		
ЭҚ түрі	Фазалар токтарының арасындағы жылжу бұрышы, °								
	A-B	B-C	C-A	A-B	B-C	C-A	A-B	B-C	C-A
АИР 63В2 У2	136	112	112	147	103	110	152	87	121
АИР 71А4 У2	129	113	118	139	104	117	146	90	124
АИР 80В6 У2	120	125	115	139	110	110	140	106	114
АИР 80А4 У2	131	110	119	144	92	124	147	73	140
АИР 100S4 У3	124	119	117	128	122	110	148	116	96
АИР 90L2 У3	137	102	121	154	69	137	153	60	147
АО-41-4	136	107	117	152	84	124	150	70	140

ЭҚ қуаты ұлғайған кезде тұйықталған орамдардың саны аз болған кезде фазалар тогының арасындағы жылжу бұрышының шамасы өседі, бұл ерте алынған нәтижелермен сәйкес келеді [3, б. 54; 9].

Тұжырымдар. Жүргізілген эксперименттер төмен вольтті электрқозғалтқыштардағы параметрмен, ол бойынша орамдық тұйықталулардың бар-жоғы туралы айтуға болады, статор фазасының токтарының арасындағы бұрыш болуы мүмкін, егер фазаның 4 %-дан астамы тұйықталса, тұйықталуды анықтауға болады.

Жұмыс ҚР БҒМ Ғылым комитетінің 2018-2020 жылдарға арналған ғылыми зерттеулерді №АР05131351 гранттық жобасы аясында орындалды.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Аббасова Э.М., Голоднов Ю.М., Зильберман В.А., Мурзаков А.Г. Собственные нужды тепловых электростанций. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 272 с.
2. Лихачев В.Л. Справочник обмотчика асинхронных двигателей. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 240 с.
3. Корогодский В.И., Кузнецов С.Л., Паперно Л.Б. Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 248 с.: ил.
4. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник для вузов. – Изд. 4-е, перер. и доп. – М.: Высшая школа, 2006. – 639 с.
5. Кузнецов С.Л., Коваленко А.В., Варфоломеев Е.П. и др. Экономическая эффективность релейной комплексной защиты электродвигателей напряжением выше 1000 вольт // Известия вузов. Серия Энергетика. – 1987. – №10. – С. 29-33.
6. Клецель М.Я., Новожилов А.Н. Погрешности измерительных преобразователей, используемых для защит, встроенных в электродвигатели // Известия вузов. Серия Электромеханика. – 1989. – №1. – С. 105-110.
7. Кацман М.М. Электрические машины: учеб. для студентов средн. проф. образования. – Изд. 12-е, стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 496 с.
8. ГОСТ 183-74 (СТ СЭВ 1346-78). Машины электрические вращающиеся. Общие технические условия (с изменениями №1, 2). – Введ. 1976-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1993. – 35 с.
9. Каратаев Б.Б., Клецель М.Я., Новожилов А.Н. Расчет ЭДС на выходе кольцевого преобразователя при витковых замыканиях в обмотке статора асинхронного электродвигателя // Известия вузов. Серия Электромеханика. – 1991. – №9. – С. 18-22.

Қабылданды 10.04.2020

---

МРНТИ 55.21.99

**Т.Б. Курманғалиев, М.Е. Бейімбек**

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

#### ЛАЗЕРНОЕ ТЕРМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

*В процессе работы будут проведены эксперименты с целью исследований восстановления и упрочнения изношенных в процессе эксплуатации рабочих поверхностей коленчатых валов. Разработка технологических рекомендаций по процессу восстановления.*

*Жұмыс барысында иінді біліктердің жұмыс беттерін пайдалану процесінде тозған қалпына келтіру және нығайту мақсатында эксперименттер жүргізілетін болады. Қалпына келтіру процесі бойынша технологиялық ұсыныстарды өзірлеу.*

*In the process of work, experiments will be conducted to study the restoration and hardening of worn-out working surfaces of crankshafts during operation. Development of technological recommendations for the recovery process.*

Современное машиностроение базируется на использовании новых конструкционных материалов, обладающих рядом высоких физико-химических свойств, основными из которых является поверхностная износостойкость деталей машин и механизмов. Значительное количество таких деталей в процессе работы подвергается интенсивным контактными нагрузкам, абразивному, гидроабразив-

ному, эрозионному, коррозионному и другим видам изнашивания. В этой связи исследователями непрерывно проводятся работы по изысканию более стойких конструкционных материалов и разрабатываются различные наукоёмкие технологии по созданию износостойких поверхностных слоев на используемых сплавах. Последнее направление является более целесообразным, так как позволяет при сравнительно меньших затратах обеспечить в целом более высокие эксплуатационные параметры машин и технологического оборудования, сохраняя при этом высокую поверхностную износостойкость трущихся деталей. Значительное число рекомендуемых технологий по созданию модифицированных износостойких поверхностей с использованием объемных и концентрированных источников нагрева, а также легирующих композиций, являются энергоёмкими, экологически небезопасными, а в ряде случаев, например получения локальных и труднодоступных износостойких трущихся поверхностей сопряжений деталей машин, вовсе технически не выполнимыми.

Большие и ещё не совсем раскрытые технологические возможности имеет лазерная поверхностная упрочняющая обработка сплавов, используемых в машиностроении. При такой обработке обеспечиваются локальный нагрев с отсутствием или минимальными деформациями и охлаждение по механизму теплопроводности вглубь материала, как правило, без применения охлаждающих сред. Получение высоких физико-механических свойств поверхностных слоев связано с высокими скоростями нагрева и охлаждения, составляющими  $104 \dots 106 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{с}$ . Лазерный луч, как уникальный технологический инструмент, позволяет задавать и обеспечивать на локальной поверхности детали тонко регулируемые в широком диапазоне нужные термические циклы нагрева/охлаждения поверхностных слоев.

При лазерных скоростях нагрева времени для протекания диффузии углерода недостаточно, что и компенсируется некоторым повышением температуры критической точки  $A_{c3}$  диаграммы Fe-Fe<sub>3</sub>C. При этом увеличивается разность свободных энергий и многократно растет скорость диффузии углерода в железе. В результате даже небольшое увеличение температуры нагрева  $A_{c3}$  всего на  $30 \dots 40 \text{ } ^\circ\text{C}$  приводит к снижению времени образования аустенита в сотни и тысячи раз. Незначительное повышение температуры одновременно приводит к увеличению скорости зарождения зёрен аустенита в  $20 \dots 30$  раз и достигает  $50 \dots 100 \text{ мм}^3/\text{с}$ . В этом случае скорость зарождения в  $3 \dots 4$  раза больше скорости роста зёрен и аустенит имеет мелкозернистое строение с повышенным уровнем напряжений [1].

Вследствие высокой скорости нагрева диффузионные процессы перестройки решетки объемно-центрированного куба избыточного феррита в решетку гранецентрированного куба аустенита могут не заканчиваться на линии GS диаграммы Fe-Fe<sub>3</sub>C, и происходит сдвиг точки  $A_{c3}$  в область более высоких температур, смещение точки  $A_{cm}$  и обусловленный этим микроплавлением границы цементита с аустенитом (рис. 1, области 2 и 3). В рассмотренных случаях процесс диффузионного перераспределения углерода в аустените, т.е. гомогенизация аустенита, смещается в область еще более высоких температур [2].

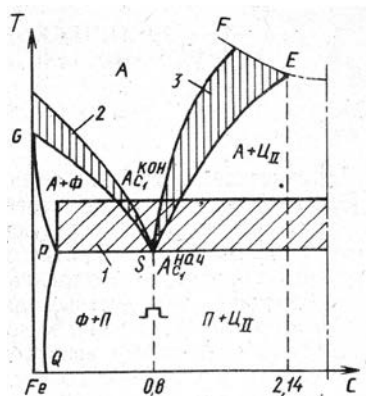


Рисунок 1 – Участок диаграммы Fe - Fe<sub>3</sub>C с особенностями структурных превращений при высокоскоростном нагреве лучом лазера

С целью изучения зоны облучения при термическом лазерном упрочнении железоуглеродистых сплавов исследовали зону лазерного воздействия на сталь 45 (ГОСТ 1050-93) и чугун СЧ-30 (ГОСТ 1412-85). Закалку проводили на цилиндрических образцах диаметром 50 мм с оплавлением и без оплавления непрерывным излучением CO<sub>2</sub>-лазера мощностью 1 кВт на установке «Комета-2» с конвективным охлаждением рабочей среды. Поверхностное термоупрочнение железоуглеродистых сплавов выполняли на режимах, представленных в табл. 1.

Таблица 1

*Режимы упрочнения непрерывным лазерным излучением*

Материал	P, Вт	d, мм	Скорость, м/мин	Глубина зоны упрочнения, мкм	Микротвердость после лазерной закалки, МПа
без оплавления	700-800	4	1,4-1,6	500-800	7500-8000
сталь 45	700-800	4	1,4-1,6	500-800	
чугун СЧ 30	700-800	4	1,4-1,6	500-800	9500-9700
с оплавлением	700-800	2,5	0,7-0,8	500-800	
сталь 45	700-800	2,5	0,7-0,8	500-800	9500-9700
чугун СЧ 30	700-800	2,5	0,7-0,8	500-800	

Структуру образцов изучали методом оптической и электронной микроскопии на оптическом микроскопе Neofot и растровом электронном микроскопе JSM-6390LV. Фазовый анализ проводили на дифрактометре Дрон-3, замеры твердости на приборе ПМТ-3 с нагрузкой 0,98 Н.

Исходная структура образцов из стали 45 состоит из перлитных зёрен с ферритной сеткой по границам зёрен. Но после непрерывного лазерного излучения с оплавлением (рис. 2, а) приповерхностный участок стали характеризуется существенными структурными изменениями в зоне лазерного воздействия (ЗЛВ). При этом степень завершенности аустенизации определяется максимальными температурами, до которых нагреваются различные зоны лазерного воздействия, скоростями нагрева и охлаждения, а также временем пребывания при температурах выше точки Ас1 диаграммы Fe-Fe<sub>3</sub>C.

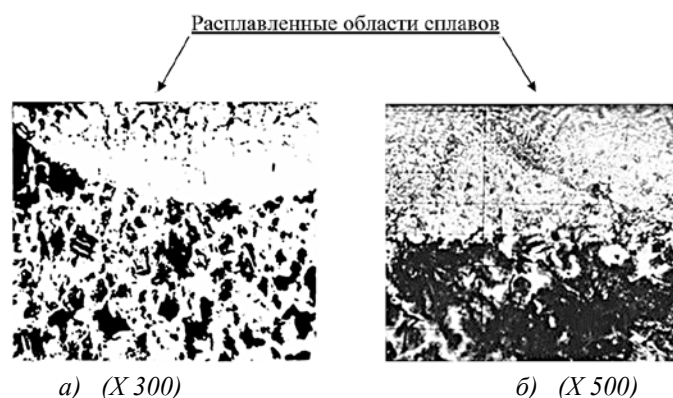


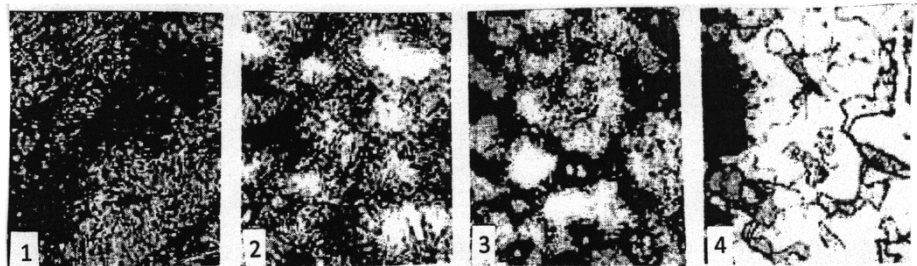
Рисунок 2 – Микроструктура образцов сталь 45 (а) и серый чугун СЧ-30 (б) после облучения лазером в режиме с оплавлением

Так в верхних слоях стали 45 (зона оплавления и верхняя часть зоны термического влияния), нагретых до температуры плавления и околосolidусных температур, происходит полное превращение избыточного феррита в аустенит, а также насыщение бывших ферритных участков углеродом. В этих слоях в процессе высокоскоростного охлаждения после лазерного воздействия образуется мелкодисперсный мартенсит с рельефными границами между пластинами (рис. 3.1, 3.2). Это, по-видимому, образовался реечный мартенсит с некоторым количеством бейнита. Микротвёрдость зоны оплавления находится в пределах от 7000...8500 МПа. Причём более высокие её зна-



чения имеют место в нижней части зоны, что можно объяснить более высокой скоростью охлаждения. С увеличением глубины ЗЛВ в нижних слоях, нагретых до более низких температур, насыщение углеродом бывших ферритных участков произойти не успевает. Это приводит к снижению устойчивости аустенита и увеличению критической скорости охлаждения. Неоднородность структуры повышается: вначале образуется мартенситотроостит, затем мартенсит и трооститная сетка, которая переходит в трооститоферритную (рис. 3.3) и на границе с исходной структурой – в ферритную (рис. 3.4).

Высокая скорость лазерной обработки снижает диффузионное перераспределение углерода между избыточным ферритом и перлитными колониями. Поэтому мартенсит, образующихся на месте перлитных колоний, может иметь концентрацию углерода, близкую к эвтектоидной. Часть цементитных пластин в перлите остаётся нерастворённой.



X500

Рисунок 3 – Микроструктура различных слоёв ЗЛВ стали 45: 1 – зона оплавления; 2 – верхняя часть ЗЛВ; 3 – средняя часть ЗЛВ; 4 – нижняя часть ЗЛВ

В зависимости от микроструктуры и микротвёрдости, сталь 45 по глубине зоны лазерного воздействия без оплавления имеет два слоя. В первом слое температура доэвтектоидной стали превышает верхнюю критическую точку  $A_{c3}$  и имеет мартенситную структуру. При этом поверхностная твердость в зоне термического лазерного упрочнения достигает 7500 МПа, чего нельзя достичь обычной объёмной закалкой, и глубина зоны упрочнения составляет 500 мкм. Второй слой – переходная зона, в которой металл соответствует нагреву в межкритическом интервале температур между точками  $A_{c3}$  и  $A_{c1}$ . Здесь имеет место неполная закалка. Этот слой имеет пониженную твердость вследствие сохранения ферритных зерен.

Лазерная обработка серого чугуна с оплавлением приводит к растворению графита в расплаве, вследствие чего в зоне оплавления формируется структура отбелённого чугуна (рис. 2). На рисунке видна зона проплавленной области, в которой наблюдается значительное насыщение поверхностного слоя углеродом – чёрные выделения. Также здесь присутствуют темно-серые области бейнита с игольчатой структурой и светлые области феррита с округлыми дисперсными включениями цементита. С удалением от поверхности уменьшается число графитовых включений. Основной структурной составляющей является пластинчатый перлит. Уменьшается число светлых ферритных областей, во внутренних объёмах которых видны цементитные выделения.

Проведённый фазовый анализ серого чугуна после лазерной закалки показал, что максимальное количество цементита 80 % зарегистрировано в отбеленном слое на расстоянии 12 мкм от его поверхности. Затем количество цементита резко снижается и с 60 мкм падает до 4 % с отдельными всплесками (рис. 4). При этом остальной углерод в количестве 0,055 % находится в железной матрице.

Кристаллизация чугуна происходит при высоких скоростях охлаждения. Эта структура характеризуется очень мелкими дендритами или ячейками аустенита, в междендритных промежутках которых расположена двухфазная составляющая – ледебурит. Особенность лазерного ледебурита в том, что он почти полностью состоит из цементита, т.е. кристаллизация осуществляется по механизму, близкому к квазиэвтектическому. Большое количество цементита определяет высокую твердость этой зоны.

Граница между зоной оплавления и зоной термического влияния в чугунах является неровной вследствие эффекта «контактного плавления», заключающего в насыщении углеродом металлической матрицы около графитовых включений и понижении температуры плавления, согласно диаграмме Fe-Fe<sub>3</sub>C [4].

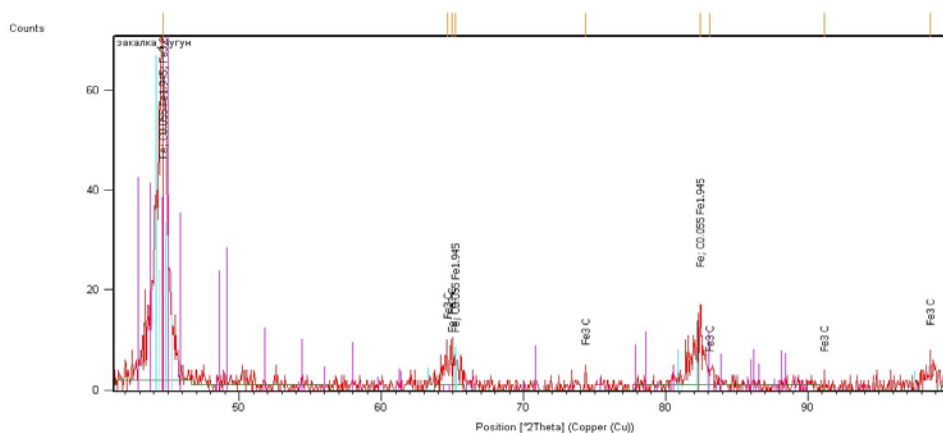


Рисунок 4 – Фазовый состав серого чугуна СЧ 30 после лазерного облучения

Для получения более детальных исследований о микроструктуре приповерхностных слоёв стали и чугуна было получено изображение микроструктуры торцевой поверхности образцов в растровом электронном микроскопе в центральной части зоны лазерного воздействия. Микроструктура стали 45 представлена на рис. 5, а, чугуна СЧ 30 – на рис. 5, б.

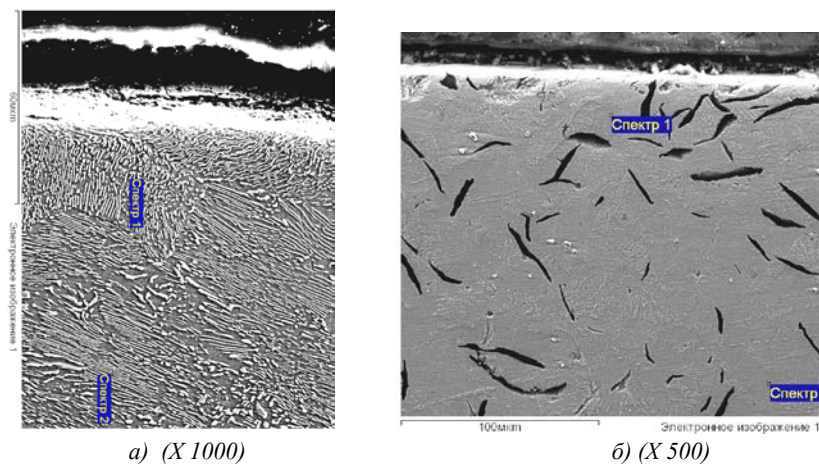


Рисунок 5 – Микроструктура приповерхностного слоя стали 45 (а) и серого чугуна СЧ 28(б) по глубине после лазерного воздействия, РЭМ

Зоны закалки стали 45 неоднородны по сечению и зависят от температур, до которых нагреваются в процессе лазерного термоупрочнения, скоростей нагрева и охлаждения, времени пребывания при температуре выше точки  $A_{c1}$ .

В верхних слоях стали, нагретых до температуры плавления и околосolidусных температур (зона оплавления и верхняя часть зоны термического влияния) произошло полное превращение избыточного феррита в аустенит и полное насыщение больших ферритных участков углеродом. Светлая не травящаяся полоса (белый слой) представляет собой малоуглеродистый мелкодисперсный мартенсит. Далее в верхних слоях образовался мелкодисперсный мартенсит с рельефными границами между пластинами. Ниже 40...50 мкм совместно с мартенситом присутствует и бейнит.

Таблица 2

Сталь 45						
Элемент	Спектр 1		Спектр 2		Спектр 3	
	C	Fe	C	Fe	C	Fe
%	14,2	85,8	16,53	83,47	15,37	84,63

При оплавлении серого чугуна пластинчатый графит растворяется в расплаве, и после кристаллизации формируется мелкодисперсная структура белого чугуна с выделениями графита в глобулярной и мелкопластинчатой форме. Это качество трансформация графита в сером чугуне при лазерном поверхностном воздействии повышает его прочностные свойства и в ряде сопрягаемых пар трения высокопрочный чугун, например ВЧ 60 или ВЧ 70, может быть заменён на серый чугун как более экономичный.

Из рис. 5, б видно частичное выделение газов, адсорбированных графитом, что может приводить к образованию пор. Зона закалки из твёрдой фазы отличается очень неоднородной структурой. Ниже линии оплавления находится светлая полоса шириной 12 мкм, что свидетельствует о том, что здесь имело место значительное насыщение матрицы углеродом из графитовых включений.

Энергодисперсионный анализ (рис. 6 и 7) показывает, что в поверхностных слоях углеродистых сплавов зарегистрировано значительное количество углерода: в стали 45 – до 15,37 % при равномерном его распределении, в чугуне СЧ30 – в пределах 14,97...19,2 % вблизи графитовых включений.

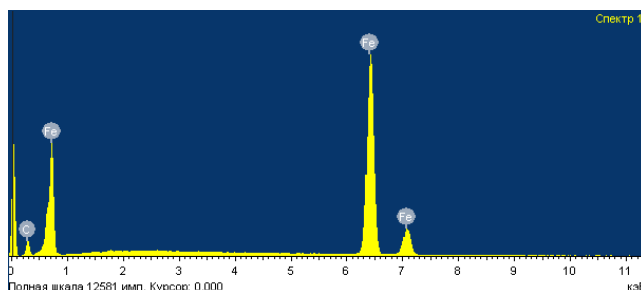


Рисунок 6 – Энергодисперсионный анализ стали 45 в зоне лазерного поверхностного воздействия (Спектр 1)

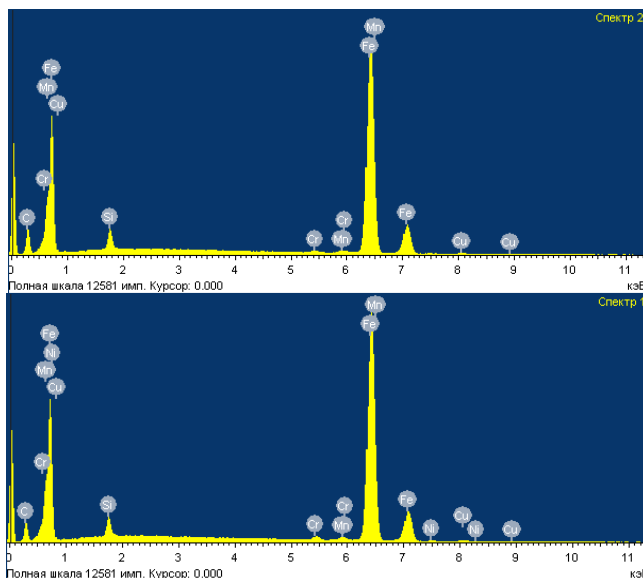


Рисунок 7 – Энергодисперсионный анализ серого чугуна СЧ- 30 в зоне лазерного поверхностного воздействия (спектры 1 и 2)

Таблица 3

Чугун Сч-30								
Спектры	Содержание элементов в весовых %							Итого
	C	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	
Спектр 1	14,97	2,34	0,71	0,78	80,21	0,48	0,51	100
Спектр 2	19,20	2,42	0,38	0,50	76,84	0,48	0,66	100

## Список литературы

1. Леонтьева Н.А., Чеканова Н.Т., Хан М.Г. Лазерная поверхностная обработка металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1986. – 142 с.
2. Андрияхин В.М. Процессы лазерной сварки и термообработки. – М.: Наука, 1988. – 176 с.
3. Григорянц А.Г., Сафонов А.Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М.: Высшая школа, 1988.
4. Козлов Г.И. Образование сверх твердых структур и фазовые превращения углерода, происходящие в приповерхностном слое чугуна при лазерном воздействии // ЖТФ, 2002. – Т. 72. – Вып. 4. – С. 81.

Получено 10.04.2020

МРНТИ 73.31.17:73.31.11

**А.А. Макенов, А.А. Давыдов**

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

#### ЭКСПЕРТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОПРОКИДЫВАНИЯ АВТОБУСА НА УЧАСТКЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

*Настоящая статья посвящена вопросам экспертного исследования ДТП на участке загородной автомобильной дороги. Представлены результаты автодорожной экспертизы и исследования обстоятельств опрокидывания автобуса VOLVO B12 на 52 км автомобильной дороги Усть-Каменогорск – Риддер, что позволило установить объективные причины и обстоятельства опрокидывания маршрутного автобуса на данном участке дороги.*

*Осы мақала қала сыртындағы автомобиль жолының теліміндегі ЖКО-ның сараптамалық зерттеу мәселелеріне арналған. Онда Өскемен – Риддер автомобиль жолының 52 шақырымында VOLVO B12 автобусының аударылып кету жағдайларын зерттеу мен автожол сараптамасының нәтижелері ұсынылған. Бұл жолдың осы учаскесінде маршруттық автобусың аударылу мән-жайларының объективті себептері мен мән-жайларын анықтауға мүмкіндік берді.*

*This article is devoted to the issues of expert study of road accidents on a suburban highway. It presents the results of a road expertise and study of the circumstances of the rollover of the VOLVO B12 bus to 52 km of the Ust-Kamenogorsk – Ridder highway. All this made it possible to establish objective reasons and circumstances for the overturning of a shuttle bus on a section of the Ust-Kamenogorsk-Ridder highway.*

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, автобус, безопасность движения, дорожно-транспортные происшествия, условия движения, участок дороги, экспертное исследование.

Стремительные темпы автомобилизации Республики Казахстан, которые наблюдаются в последние годы, закономерно обусловили необходимость обеспечения безопасности дорожного движения на новом современном уровне [1]. Вполне очевидно, что повышение безопасности дорожного движения стало чрезвычайно актуальной социально-экономической проблемой. Поэтому в общей системе мер по повышению безопасности дорожного движения существенное значение имеют меры административно-, гражданско- и уголовно-правового характера. Расследование, ад-

министративное и судебное разбирательства уголовных дел по факту ДТП требуют использования специальных познаний, которые охватывают всю совокупность взаимодействующих элементов системы «водитель – автомобиль – дорога – среда», из которых складывается процесс дорожного движения. В большинстве случаев состав преступления или нарушения можно установить на основе производства судебной автотехнической экспертизы. Целью экспертизы ДТП является установление объективных причин и обстоятельств каждого конкретного происшествия для создания технической основы к правовому решению [2, 3].

Нами были выполнено экспертное исследование опрокидывания рейсового автобуса VOLVO B12, который следовал из города Усть-Каменогорска в город Риддер. Опрокидывание автобуса произошло 26 декабря 2017 года на 52 км автомобильной дороги Усть-Каменогорск – Риддер вблизи села Быструха Глубоковского района ВКО. Согласно предварительным данным ДТП произошло из-за гололеда.

В рамках экспертного исследования ДТП нами были выполнены следующие виды работ [2, 3]:

1) автодорожная экспертиза (исследование участка автомобильной дороги, дорожных условий на месте ДТП с целью соответствия нормативным требованиям; установление связи отклонений от норм с фактом ДТП и его последствиями; определение недостатков в организации движения; указание общих требований, которыми должны руководствоваться организации, ответственные за содержание и эксплуатацию автомобильной дороги).

2) исследование обстоятельств ДТП (определение технической возможности участников предотвратить ДТП и соответствия их действий требованиям Правил дорожного движения Республики Казахстан).

Нами была визуально изучена существующая схема организации движения на 51-52 км автомобильной дороги Усть-Каменогорск – Риддер с непосредственным выездом на место ДТП. Автомобильная дорога Усть-Каменогорск – Риддер относится к категории автомобильных дорог республиканского (национального) значения (А9).

На участке автомобильной дороги, где произошло опрокидывание автобуса VOLVO B12, проезжая часть имеет небольшой поперечный уклон. С целью определения величины поперечного уклона были выполнены необходимые замеры: расстояние в горизонтальной плоскости от осевой линии до нижнего края проезжей части и в вертикальной плоскости от горизонтальной отметки до края проезжей части с использованием рейки с уровнем и мерной рулетки.

На основе полученных данных были выполнены расчеты величины поперечного уклона автомобильной дороги  $i_{ny}$  в промилле:

$$i_{ny} = 1000 \cdot (h/b) = 1000 \cdot (18/400) = 45 \text{ ‰}; \quad (1)$$

угла поперечного уклона  $\beta$ :

$$\beta = \arctg (h/b) = \arctg (18/400) = 2,57^\circ, \quad (2)$$

где  $h$  – превышение (катет в вертикальной плоскости), м ( $h = 0,18$  м);  $b$  – заложение (катет в горизонтальной плоскости), м ( $b = 4,00$  м).

Сравним полученное значение  $i_{ny} = 45 \text{ ‰}$  с допустимыми значениями поперечного уклона проезжей части автомобильных дорог II-IV категории, которые следует назначать в зависимости от количества полос и климатических условий (табл. 2 [4]). Следовательно, существующий уклон более чем в два раза превышает допустимый поперечный уклон ( $15 \dots 20 \text{ ‰}$ ).

Известно, что величина поперечного уклона проезжей части автомобильной дороги оказывает значительное влияние на безопасность движения. Использование поперечного профиля дорожного покрытия в качестве дренажной системы обеспечивает снижение количества воды на автомобильных дорогах и исключает аквапланирование.

Согласно существующей схеме дислокации дорожных знаков на 51-52 км автомобильной дороги Усть-Каменогорск – Риддер установлены предупреждающие дорожные знаки 1.13 «Крутой спуск» с обеих сторон проезжей части.

С учетом дорожных и погодно-климатических условий на данном участке автомобильной дороги необходимо установить следующие предупреждающие дорожные знаки:

– 1.15 «Скользкая дорога», который должен устанавливаться перед участками автомобильных дорог, на которых коэффициент сцепления шин с дорожным покрытием во влажном состоянии менее 0,3 (п. 5.2.17 [5]);

– 1.27 «Боковой ветер», который должен устанавливаться перед участками автомобильных дорог, проходящими по горным перевалам, высоким насыпям, вдоль ущелий и рек, на которых возможен сильный боковой ветер (п. 5.2.29 [5]).

Все это позволит обеспечить своевременное информирование водителей транспортных средств об условиях движения.

На участке автомобильной дороги, где произошло опрокидывание автобуса, отсутствуют какие-либо дорожные ограждения, что приводит к существенному ухудшению условий безопасности движения. Все это обусловлено тем, что данный участок автомобильной дороги представляет собой высокую насыпь, которая имеет глубокие кюветы с обеих сторон проезжей части.

Для предотвращения вынужденных съездов транспортных средств с земляного полотна автомобильной дороги должны применяться дорожные ограждения первой группы (барьерного или парапетного типов). При этом высота дорожных ограждений должна быть 0,75...0,8 м (п. 8.1.1 [5]). Мерой обеспечения пассивной безопасности движения на участках автомобильных дорог в горной местности является установка барьерных ограждений со стороны обрыва. Наряду с функцией предотвращения съезда с дороги это способствует повышению уверенности в действиях водителей автотранспортных средств и, соответственно, скорости сообщения [6].

Безопасность движения на автомобильных дорогах непосредственно связана с устойчивостью автомобиля. В свою очередь, устойчивость автомобиля зависит от его основных параметров, продольного и поперечного профилей дороги, качества дорожного покрытия (шероховатость, ровность).

Поперечная устойчивость автомобиля по условиям сцепления шин с дорожным покрытием, имеющим поперечный уклон, определяется следующим условием [7]:

$$\operatorname{tg} \beta \leq \varphi_y \text{ или } \beta \leq \arctg \varphi_y, \quad (3)$$

где  $\beta$  – угол поперечного уклона дороги, град.;  $\varphi_y$  – коэффициент поперечного сцепления шин с дорогой.

Для определения характеристик дорожного покрытия, при которых возможно поперечное смещение автобуса из занимаемой полосы проезжей части (в нашем случае на полосу встречного движения) с последующим опрокидыванием с нее в кювет, необходимо выполнить соответствующие расчеты.

Для выполнения расчетов используются следующие исходные данные:

- |                                   |         |
|-----------------------------------|---------|
| 1. Габаритная высота автобуса $H$ | 3,6 м.  |
| 2. Габаритная длина автобуса $D$  | 13,5 м. |
| 3. Габаритная ширина автобуса $B$ | 2,5 м.  |
| 4. Колесная база автобуса $L$     | 6,08 м. |

5. Масса транспортного средства в снаряженном состоянии (определенная изготовителем масса комплектного транспортного средства с водителем без нагрузки)  $m_o$  19500 кг.

6. Количество пассажиров в салоне  $n_{nac}$  10 чел.

7. Средняя масса одного пассажира  $m_{nac}$  70 кг.

Для оценки поперечной устойчивости автобуса используется показатель  $\beta_s$  – максимальный (критический) угол косогора, который соответствует началу бокового скольжения колес (критический угол косогора по условию заноса или скольжения) [7].

При движении автобуса по дороге с поперечным уклоном потеря поперечной устойчивости может произойти под действием поперечной составляющей силы тяжести автобуса  $G \cdot \sin \beta$  (рис.).

Спроектируем все силы, которые действуют на автобус, на плоскость дороги:

$$G \cdot \sin \beta = R_{yв} + R_{yn}. \quad (4)$$

По условию сцепления шин с дорогой сумма поперечных реакций в момент начала заноса [7]:

$$R_{yв} + R_{yn} = G \cdot \cos \beta \cdot \varphi_y. \quad (5)$$

Следовательно,  $G \cdot \sin \beta = G \cdot \cos \beta \cdot \varphi_y$ .

Откуда  $\beta_z = \arctg \varphi_y$ .

Для дорожного покрытия, которое представляет собой ледяное образование, можно принять  $\varphi_y = 0,15$  [3, 7]. Тогда  $\beta_z = \arctg 0,15 = 8,53^\circ$ .

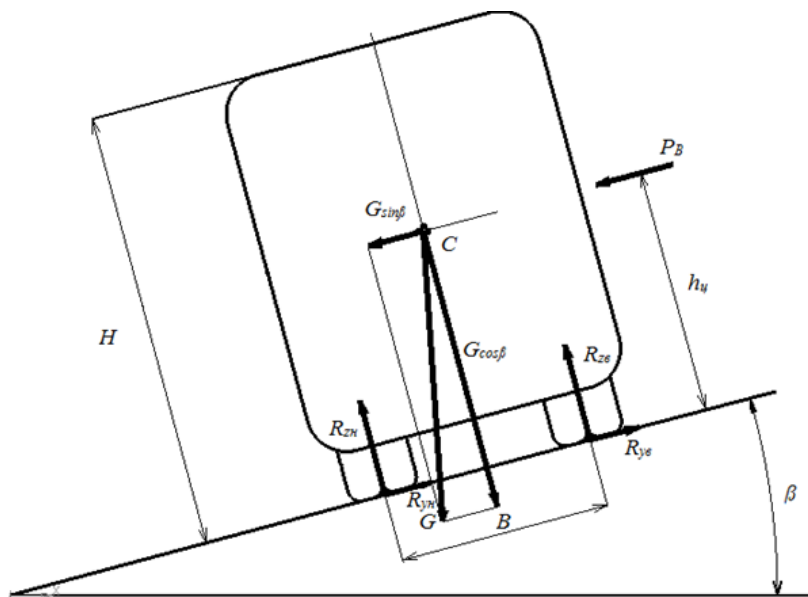


Рисунок – Схема для оценки поперечной устойчивости автобуса

Следовательно, если угол поперечного уклона проезжей части дороги превышает  $8,53^\circ$ , то происходит боковое скольжение автобуса и, как следствие, возможно поперечное смещение из занимаемой полосы проезжей части, на встречную полосу движения и с нее в кювет с последующим опрокидыванием. В нашем случае угол поперечного уклона участка дороги составляет всего  $2,57^\circ$ , что исключает боковое скольжение (занос) автобуса и съезд на встречную полосу.

Теперь определим, возможно ли боковое скольжение (занос) автобуса на скользкой проезжей части под действием сильного бокового ветра, что может привести к съезду с проезжей части и последующему опрокидыванию.

Филиал РГП на ПХВ «Казгидромет» по ВКО Министерства энергетики Республики Казахстан какой-либо достоверной информацией о состоянии погоды в районе возникновения ДТП не располагал из-за отсутствия наблюдательного пункта на данном участке. Поэтому в ответ на запрос адвоката были представлены данные о погоде в городе Усть-Каменогорске на это же время, как самой ближайшей станции к месту происшествия. В письме указывается, что средняя скорость ветра была равна 10 м/с, максимальная скорость ветра – 16 м/с.

Все необходимые расчеты выполняем для двух возможных случаев: автобус осуществлял движение по горизонтальному участку дороги или по участку дороги с поперечным уклоном.

Вначале рассмотрим движение автобуса по горизонтальному участку автомобильной дороги. Потеря автобусом устойчивости может привести к его опрокидыванию или скольжению. В зависимости от того, каково направление опрокидывания или скольжения, различают поперечную и продольную устойчивость. Наиболее вероятна и опасна потеря поперечной устойчивости, которая происходит в результате действия на автобус боковых сил (сила бокового ветра), а также в результате боковых ударов колес автомобиля о неровности дороги.

При движении кузов автобуса перемещает частицы воздуха. При этом в каждой точке поверхности кузова автобуса возникают элементарные силы. Часть из них направлена по нормали к поверхности, а часть – по касательной. Касательные силы создают трение, а нормальные силы оказывают давление на поверхность автобуса, препятствуя его движению [7].



Элементарные нормальные силы для упрощения расчетов заменяют сосредоточенной силой, которая называется «силой сопротивления воздуха»  $P_B$ .

Сила сопротивления воздуха определяется по формуле [7]:

$$P_B = K_B \cdot F_{\delta} \cdot V_{\delta}^2, \quad (6)$$

где  $K_B$  – коэффициент сопротивления воздуха,  $\text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ;  $F_{\delta}$  – боковая площадь автобуса,  $\text{м}^2$ ;  $V_{\delta}$  – скорость ветра,  $\text{м/с}$  (принимается  $V_{\delta}=16 \text{ м/с}$ ).

Боковой площадью  $F_{\delta}$  автобуса называют площадь проекции на плоскость, которая параллельна его продольной оси. Для определения  $F_{\delta}$  для автобусов используют следующую формулу [7]:

$$F_{\delta} = D \cdot H, \quad (7)$$

где  $D$  – габаритная длина автобуса,  $\text{м}$ ;  $H$  – габаритная высота автобуса,  $\text{м}$ .

Тогда  $F_{\delta} = 13,5 \cdot 3,6 = 48,6 \text{ м}^2$ .

Принимаем величину коэффициента сопротивления воздуха равным  $0,4 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$  (для автобусов) [7].

Сила сопротивления воздуха будет равна

$$P_B = 0,4 \cdot 48,6 \cdot 16^2 = 4976,64 \text{ Н}.$$

Сила сцепления шин с дорогой  $P_{\text{сц}}$  представляет собой максимальное значение горизонтальной боковой реакции, которая будет препятствовать скольжению автобуса [7]:

$$P_{\text{сц}} = G_a \cdot \cos \beta \cdot \varphi_y, \quad (8)$$

где  $G_a$  – полный вес автобуса,  $\text{Н}$ ;  $\varphi_y$  – коэффициент поперечного сцепления (для льда  $\varphi_y=0,15$ ).

Полный вес автобуса определяется из следующего выражения:

$$G_a = G_o + m_{\text{пас}} \cdot n_{\text{пас}} \cdot g, \quad (9)$$

где  $G_o$  – вес снаряженного автобуса,  $\text{Н}$ ;  $m_{\text{пас}}$  – масса одного пассажира,  $\text{кг}$  (в расчетах  $m_{\text{пас}}$  принята  $70 \text{ кг}$ );  $n_{\text{пас}}$  – количество пассажиров в салоне автобуса, чел.;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$  ( $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ).

Вес снаряженного автобуса равен  $G_o = m_o \cdot g = 19500 \cdot 9,81 = 191295 \text{ Н}$ .

Полный вес автобуса составит  $G_a = 191295 + 70 \cdot 10 \cdot 9,81 = 198162 \text{ Н}$ .

Сила сцепления будет равна  $P_{\text{сц}} = 198162 \cdot 0,99899 \cdot 0,15 = 29694,27 \text{ Н}$ .

$$P_{\text{сц}} = 29694,27 \text{ Н} > P_B = 4976,64 \text{ Н}.$$

Следовательно, автобус на горизонтальном участке автомобильной дороги обладает достаточной поперечной устойчивостью по условию бокового скольжения из-за действия бокового ветра.

Определим величину скорости бокового ветра, при котором возможно боковое скольжение автобуса. Для этого необходимо, чтобы сила сопротивления воздуха была больше силы поперечного сцепления.

Например,  $P_B = 30000 \text{ Н} > P_{\text{сц}} = 29724,3 \text{ Н}$ .

$$P_B = K_B \cdot F_{\delta} \cdot V_{\delta}^2 = 0,4 \cdot 48,6 \cdot V_{\delta}^2 = 19,44 \cdot V_{\delta}^2 = 30000 \text{ Н}.$$

Откуда находим  $V_{\delta} = 39,3 \text{ м/с}$ .

Следовательно, при скорости бокового ветра  $V_{\delta}$  больше  $39,3 \text{ м/с}$  возможно боковое скольжение автобуса с последующим опрокидыванием в кювет.

При наличии поперечного уклона дороги необходимо в расчетах принять во внимание дополнительно боковую силу  $P_{\delta}$ , которая представляет собой поперечную составляющую силы тяжести автомобиля.

Значение  $P_{\delta}$  определяется по следующей формуле [7]:

$$P_{\delta} = G_a \cdot \sin \beta. \quad (10)$$

Принимая во внимание величину поперечного уклона автомобильной дороги, которая получена в результате выполненных замеров, рассчитаем боковую силу

$$P_{\phi} = G_a \cdot \sin \beta = 198162 \cdot 0,0448 = 8877,6 \text{ Н.}$$

Силу сцепления шины колеса с дорожным покрытием рассчитаем по следующей формуле [7]:

$$P_{cy} = G_a \cdot \cos \beta \cdot \varphi_y = 198162 \cdot 0,99899 \cdot 0,15 = 29694,27 \text{ Н.}$$

$$P_{cy} = 29694,27 \text{ Н} > P_B + P_{\phi} = 4976,64 + 8877,6 = 13854,24 \text{ Н.}$$

Следовательно, автобус обладает достаточной поперечной устойчивостью по условию бокового скольжения из-за действия бокового ветра при наличии поперечного уклона автомобильной дороги.

Определим величину скорости бокового ветра, при котором возможно скольжение автобуса на участке автомобильной дороги с учетом поперечного уклона. Для этого необходимо, чтобы сумма силы сопротивления воздуха и боковой силы была больше силы поперечного сцепления.

Например,  $P_B + P_{\phi} = 30000 \text{ Н} > P_{cy} = 29694,27 \text{ Н.}$

$$P_B = 30000 - P_{\phi} = 30000 - 8877,6 = 21122,4 \text{ Н.}$$

$$P_B = 19,44 \cdot V_{\phi}^2. \text{ Откуда находим, что } V_{\phi} = 32,96 \text{ м/с.}$$

Поэтому на данном участке автомобильной дороги с поперечным уклоном при скорости бокового ветра  $V_{\phi}$  больше 32,96 м/с возможно боковое скольжение автобуса с последующим опрокидыванием в кювет.

Следовательно, в качестве основной причины опрокидывания автобуса VOLVO B12 на 52 км автомобильной дороги Усть-Каменогорск – Риддер следует считать обледенение проезжей части. Скользкость дорожного покрытия обусловила потерю управляемости автобуса, что привело в дальнейшем к его опрокидыванию с высокой насыпи в кювет с левой стороны проезжей части.

Анализ существующей схемы организации движения на 51-52 км автомобильной дороги Усть-Каменогорск-Риддер позволил выявить следующие недостатки:

1. Отсутствие предупреждающих дорожных знаков и дорожных ограждений на 51-52 км автомобильной дороги не обеспечивает необходимый уровень безопасности движения, что обуславливает высокую вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП).

2. Следует отметить неудовлетворительную работу дорожно-эксплуатационных организаций по ликвидации зимней скользкости автомобильных дорог. Плановые работы по применению фрикционного материала в качестве способа борьбы с обледенением проезжей части выполняются некачественно и несвоевременно.

В результате проведенного экспертного исследования можно сделать следующие выводы:

1. При отрицательных температурах наружного воздуха частые обледенения проезжей части автомобильной дороги существенно снижают коэффициент сцепления шин с дорогой. При движении по скользким автомобильным дорогам с обледенелым покрытием величины коэффициентов горизонтального сцепления  $\varphi_y$  и сопротивления качению  $f_o$  близки по значению, что приводит к снижению критической скорости автобуса по условиям управляемости. Если  $\varphi_y \approx f_o$ , то критическая скорость автобуса по условиям управляемости  $V_{yup} = 0$ , и автобус теряет управляемость.

2. Существующая схема организации движения на 51-52 км автомобильной дороги Усть-Каменогорск – Риддер не позволяет обеспечить безопасный проезд автотранспортных средств в условиях зимней скользкости проезжей части и сильного бокового ветра, что способствует возникновению опасных дорожно-транспортных ситуаций. Все это обусловлено отсутствием для водителей транспортных средств необходимых технических средств организации дорожного движения (дорожные знаки и дорожные ограждения), которые должны быть использованы согласно [5].

3. Для обеспечения безопасной и оптимальной скорости движения в зимнее время на автомобильных дорогах необходимы дополнительные меры, которые должны выполняться транспортными и дорожными организациями совместно со специалистами по организации движения [6]:

- предупреждение обледенения автомобильной дороги и борьба со скользкостью дорожного покрытия;

- применение дополнительных средств информации и зрительного ориентирования водителей транспортных средств, предупреждающих о наиболее сложных условиях движения, включая и ограничение скорости движения.

## Список литературы

1. Закон Республики Казахстан «О дорожном движении» от 17 апреля 2014 года № 194-V ЗРК (с изменениями и дополнениями).
2. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: Учебник для вузов / В.А. Иларионов. – М.: Транспорт, 1989. – 255 с.
3. Чава И.И. Судебная автотехническая экспертиза. Исследование обстоятельств дорожно-транспортного происшествия: Учебно-методическое пособие / И.И. Чава. – М.: ИЦ ИПК РФЦСЭ, 2007. – 98 с.
4. СП РК 3.03-101-2013 Автомобильные дороги. – Астана, 2015. – 139 с.
5. СТ РК 1412-2017 Технические средства организации дорожного движения: Правила применения. – Астана: Госстандарт, 2018. – 126 с.
6. Кликовштейн Г.И. Организация дорожного движения: Учебник для вузов / Г.И. Кликовштейн, М.Б. Афанасьев. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.
7. Давыдов А.А. Теория движения автомобиля: Учебно-методическое пособие / А.А. Давыдов, А.А. Макенов. – Алматы: Издательский дом «Альманах», 2018. – 157 с.

Получено 10.04.2020

---

МРНТИ 55.13.01

**И.Г. Муравьева, С.Д. Капаева, Р. Габдысалык**

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

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОКАТКИ БЕРИЛЛИЕВОЙ ФОЛЬГИ**

*В работе представлены результаты экспериментальных исследований технологии прокатки бериллиевой фольги, предназначенной для использования в приборостроении и ядерной энергетике. Авторы представляют: 1) особенности технологии получения тонких бериллиевых фольг методом проката, 2) результаты влияния режимов термообработки на структуру и свойства бериллиевых фольг, 3) возможность получения качественных пластин толщиной около 0,6 мм при использовании бериллиевой заготовки исходной толщиной 5 мм.*

*Жұмыста аспапжасау мен ядролық энергетикада пайдалануға арналған бериллий фольгасын илемдеу технологиясын эксперименттік зерттеу нәтижелері ұсынылған. Авторлар: 1) илемдеу әдісімен жұқа бериллий фольгасын алу технологиясының ерекшеліктері; 2) термоөңдеу режимдерінің бериллий фольгасы құрылымы мен қасиеттеріне әсер ету нәтижелері; 3) бастапқы қалыңдығын 5 мм тең бериллий дайындамасын қолдану кезінде қалыңдығы шамамен 0,6 мм сапалы пластиналарды алуға боладындығын ұсынады.*

*The paper presents the results of experimental studies of beryllium foil rolling technology intended for use in instrument engineering and nuclear power engineering. The authors present: 1) the features of the technology for producing thin beryllium foils by rolling, 2) the results of the influence of heat treatment modes on the structure and properties of beryllium foils, 3) it is possible to obtain high-quality plates with a thickness of about 0.6 mm when using the initial thickness of 5 mm beryllium blank.*

В настоящее время возрастает спрос на тонкие бериллиевые фольги, которые широко применяются для изготовления многих изделий и используются в приборостроении и ядерной энергетике. Низкий коэффициент линейного поглощения в сочетании с уникальными физико-механическими свойствами бериллия делает его идеальным материалом для изготовления металлических окон в рентгеновской технике и детекторах ионизирующего облучения.

Основной технологической схемой получения фольг и листов из бериллия является «горячая» или «теплая» прокатка заготовок до требуемой толщины [1]. В качестве оборудования для прокатки в основном используют станы ДУО и КВАРТО [2]

Процесс прокатки проводят при температурах от 600 до 950 °С в зависимости от сорта исходного материала. Так, при прокатке металлокерамического бериллия используют температуры от 750 до 950 °С, а для литого бериллия – от 600 до 800 °С [3]. Прокатку бериллия проводят в инертной атмосфере [1], либо в металлических оболочках [3, 4, 5]. Прокатка в инертной атмосфере позволяет получать качественные фольги, но представляет собой сложный и дорогостоящий способ. Поэтому большинство производителей фольг используют прокатку в оболочках. В качестве материала оболочек используют нержавеющую сталь [6, 7] или малоуглеродистую конструкционную сталь [1, 3, 5, 8].

Прокатывают заготовки на максимально возможную величину. Деформация по толщине за один проход колеблется от 5 до 20 %. Между переходами заготовки подогревают в печи. В некоторых случаях предлагается в середине прокатки проводить отжиг в течение 0,5 часа, а к концу прокатки снижать температуру прокатки на 100-150 °С [3].

После прокатки осуществляют удаление стальной оболочки посредством отрезания кромки на гильотине, электроэрозионной резкой, газовым резаком, а при использовании малоуглеродистой стали оболочки стравливают в водном растворе азотной кислоты [3, 4, 8, 9, 10].

На базе АО «УМЗ» были проведены испытания по отработке технологии прокатки бериллиевой фольги. Для прокатки листов из горячепрессованной заготовки были вырезаны темплеты размерами Ø50 x 5 (мм) в количестве 9 штук. Полученные заготовки были помещены в оболочки из малоуглеродистой стали Ст3 и герметично заварены. Габаритные размеры сборок составили 17x75x75 (мм). Заготовки для оболочки и исходная бериллиевая заготовка показаны на рис. 1.

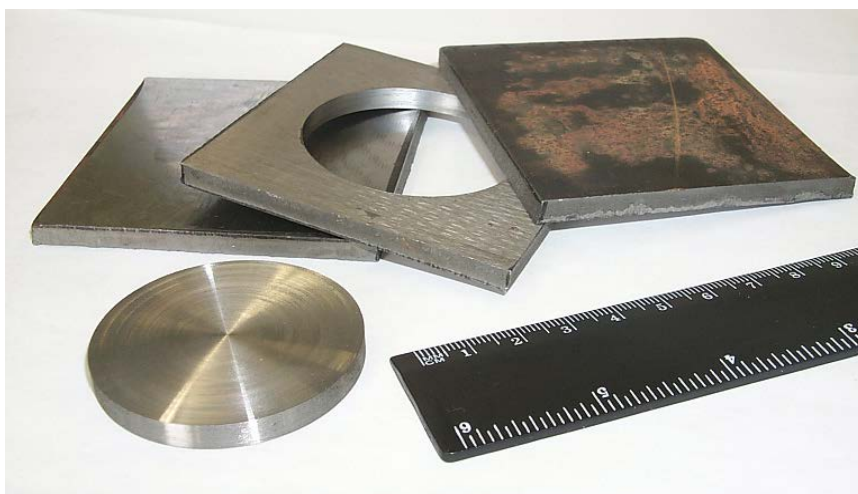


Рисунок 1 – Внешний вид исходной заготовки и стальной оболочки

Прокатка заготовок производилась на одноклетьевом прокатном стане ДУО-300. С целью уточнения допустимых степеней деформации и температурных режимов была проведена прокатка сборок при температурах 750 °С, 800 °С и 850 °С. Заготовки перед прокаткой нагревались в камерной печи сопротивления ОКБ-210А при заданной температуре не менее 2 часов, после каждого прохода осуществлялся промежуточный подогрев заготовок в течение 3-10 минут. Прокатка велась до минимального допустимого зазора между валками 0,5 мм. Скорость прокатки изменялась от 3,8 м/мин (на начальной стадии прокатки) до 15 м/мин (на финишной стадии). Увеличение скорости прокатки на финишных проходах диктовалось необходимостью предотвращения чрезмерного охлаждения заготовок при уменьшении толщины и увеличении длины проката.

Предполагаемые степени деформации за проход должны были составлять 10 %, 15 %, 20 %. Однако фактические степени деформации за проход составили от 2 до 25 %. Усилие прокатки при температуре 750° и максимальной степени деформации за проход в ряде случаев превышало рекомендуемый для стана предел 100 т. На рис. 2 приведён внешний вид сборок после прокатки.



Рисунок 2 – Внешний вид прокатанных сборок

Толщина конечного проката в сборках составила от 1,5 мм до 2,05 мм. Охлаждение прокатанных сборок осуществлялось вне печи на воздухе. После охлаждения сборки подвергались травлению в водном 50 % растворе азотной кислоты для удаления стальной оболочки. Внешний вид бериллиевых пластин после удаления оболочек показан на рис. 3.



Рисунок 3 – Внешний вид проката после удаления оболочек

Шероховатость исходных заготовок из бериллия, полученных токарной обработкой, составляла от  $R_a = 5,0$  мкм до  $R_a = 6,0$  мкм. После прокатки шероховатость не превышала  $R_a = 3,42$  мкм. Улучшение качества поверхности связано, скорее всего, с выравниванием шероховатостей при травлении заготовок после токарной обработки и непосредственно при горячей прокатке в оболочках.

На части пластин наблюдаются дефекты в виде трещин. Они образовались, скорее всего, из-за неравномерности деформации по ширине полосы. Дефекты пластин в виде надрывов кромок по одной из сторон связаны, скорее всего, с некачественной проваркой шва оболочки. Судя по внешнему виду пластин, в области образования дефектов происходило окисление материала, что и привело к образованию наблюдаемых дефектов.

В табл. 1 приведены данные по суммарным степеням деформации, шероховатости поверхности и дефектам полученного проката.

Таблица 1

*Суммарная степень деформации, качество поверхности и дефектность проката*

Температура прокатки, °С	Толщина после прокатки, мм		Степень деформации, %		Шероховатость поверхности R <sub>a</sub> , мм		Наличие дефектов
	Сборки	Бериллия	Сборки	Бериллия	вдоль	поперёк	
850	1,60	0,56	90,5	88,8	-	-	Дефекты отсутствуют
	1,75	0,58	89,7	88,4	-	-	Дефекты отсутствуют
	1,70	0,55	90,0	89,0	-	-	Трещины по всей пластине
800	2,00	0,70	88,2	86,1	-	-	Трещины по краю
	1,50	0,63	91,2	87,4	-	-	Трещины по краю
	1,60	0,63	90,6	87,4	2,65 2,82 3,42	2,57 2,27 2,58	Дефекты отсутствуют
750	1,85	0,69	88,2	86,2	-	-	Трещины по краю
	2,00	0,70	88,0	86,0	-	-	Трещины по краю
	2,05	0,71	87,9	85,9	2,45 2,07 2,77	2,01 2,47 1,96	½ пластины в трещинах

Дополнительно было установлено, что прокатанные пластины при общей длине от 370 мм до 400 мм имеют разную толщину по всей длине. Максимальное среднее отклонение от заданной толщины составило 0,06 мм. Вероятностной причиной полученной разности по толщине пластин является то, что при прокатке длинных тонких пластин на финальных стадиях произошло охлаждение задних концов заготовок. В результате возрастает сопротивление в материале и снижается степень его деформации.

Таким образом, на стане ДУО-300 возможно получение качественных пластин толщиной около 0,6 мм при использовании бериллиевой заготовки с исходной толщиной равной 5 мм.

В дальнейшем из прокатанных пластин планируется получить фольгу толщиной 0,1-0,3 мм методами однослойной и пакетной прокатки в условиях различных режимов термообработки. Планируется посредством механических испытаний и микроструктурных исследований проанализировать следующие характеристики новых образцов бериллиевых фольг: макро- и микроструктура, физико-механические свойства, микротвёрдость.

Результаты проведенных и планируемых в дальнейшем исследований будут способствовать более глубокому пониманию влияния технологических параметров прокатки и режимов термообработки на структуру и свойства бериллиевых фольг, что представляет несомненный как научный, так и практический интерес.

Отработка технологии прокатки и исследование режимов термообработки в условиях существующего производства позволит изготавливать бериллиевую фольгу с благоприятной структурой и физико-механическими свойствами, необходимую для производства металлических окон рентгеновской аппаратуры.

#### Список литературы

1. Бериллий: Наука и технология / [Мартин А. Дж., Адольфсон Д. Р., Алдингер Ф. и др.]; под ред. Д. Вебстера и др.; пер. с англ. А. С. Капчерина; под. ред. Г. Ф. Тихинского, И. И. Папинова. – Москва: Металлургия, 1984. – 624 с.

2. Пасечник Н.В., Серебренников А.М., Дроздов И.В., Вакаренко В. В., Забродин А. В. Прокатный комплекс для производства бериллиевой фольги // Тяжелое машиностроение. – 2012. – № 5. – С. 28-31.
3. Жаринов В.П. Исследование пластической деформации бериллия при прокатке применительно к разработке технологии производства листов: дис. ... канд. техн. наук. – ХФТИ, 1976 г.
4. Патент РФ RU 2 299 102.
5. Патент США US 3 354 538.
6. Папилов И.И., Тихинский Г.Ф. Пластическая деформация бериллия / В.Е. Иванов. – М: Атомиздат, 1973. – 304 с.
7. Авторское свидетельство об изобретении СССР SU 1 779 420.
8. Патент США US 3 234 052.
9. Жаринов В.П., Савчук В.В., Сырнев Б.В., Чумак П.В. Отработка технологии тонколистовой прокатки бериллия и исследование свойств фольги. Отчёт п/я В-8857, 1977 г., инв.№ Н-3565.
10. Шахворостов Ю.В., Тузов Ю.В., Туганбаев Ф.С., Веселков Н.А., Зорин Б.Л. и др. Усовершенствование существующей технологии производства порошков, ГП-заготовок и деформированных полуфабрикатов из бериллия: Отчёт п/я В-8857, 1991 г., инв.№ Н-4811.

Получено 10.04.2020

МРНТИ 31.19.15

**Г.Ж. Мухаметкалиева<sup>1</sup>, Р.А. Аубакирова<sup>1</sup>, Б.С. Саурбаева<sup>2</sup>, Н.О. Акимбаева<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск

<sup>2</sup>Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

<sup>3</sup>Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы

#### **АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОЛИТА ЦИНКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА НА СОДЕРЖАНИЕ ФТОРА**

*Чистота электролита определяет показатели процесса электроосаждения цинка и качество катодного металла. Вредное воздействие фтора проявляется в увеличении адгезии цинка к алюминиевым матрицам, вызывая явление «трудной сдирки» и приводит к повышенному удельному расходу электроэнергии, а также увеличению трудозатрат при производстве металла. Разработка эффективной технологии очистки цинковых растворов от фторид-ионов является ключевым моментом для создания комплексной схемы переработки цинкосодержащего сырья.*

*Электролиттің тазалығы мырышты электролиздік алу кезіндегі сапасының артуына, электр-тұндыру процесінің көрсеткіштерінің жақсы нәтиже беруіне көп әсер етеді. Фтордың зиянды әсері мырыштың алюминий матрицаларына адгезиясының ұлғаюынан байқалады. «Қиын қырып алу» құбылысын тудырып, электр энергиясының шығынына, сондай-ақ металл өндіруде еңбек шығындарының ұлғаюына өкеледі. Мырыш ерітінділерін фторид-иондардан тазартудың тиімді технологиясын әзірлеу құрамында мырыш бар шикізатты өңдеудің кешенді схемасын жасау үшін негізгі мәселелердің бірі болып табылады.*

*The purity of the electrolyte determines the parameters of the zinc electrodeposition process and the quality of the cathode metal. The harmful effect of fluorine is manifested in an increase in the adhesion of zinc to aluminum matrices, causing the phenomenon of "difficult peeling" and leads to an increased specific energy consumption, as well as an increase in labor costs in the production of metal. The development of an effective technology for cleaning zinc solutions from fluoride ions is a key point for creating a comprehensive scheme for processing zinc-containing raw materials.*

**Ключевые слова:** *раствор, электролиз, концентрат.*

Для извлечения цинка из концентратов применяют два способа: пирометаллургический (дистилляционный) и гидрометаллургический (электролитический). УК МК ТОО «Казцинк» производит цинк стандартным гидрометаллургическим способом, последовательно используя обжиг в печах кипящего слоя, двухстадийное выщелачивание отработанным электролитом с гидролитической и цементационной очистками растворов, электролиз. Технологическая схема гидрометаллургического способа переработки цинковых концентратов представлена на рис. 1.



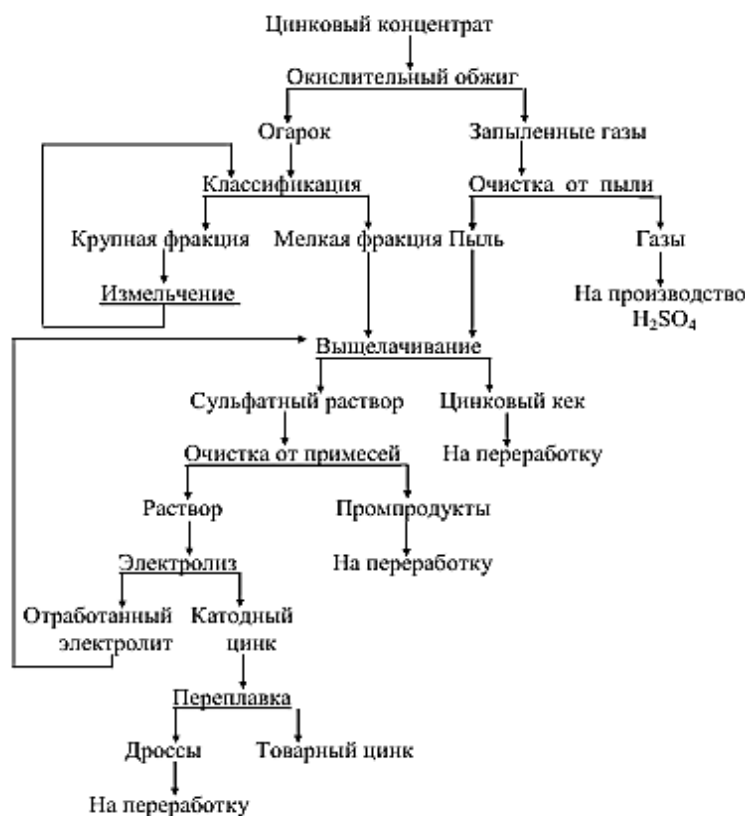


Рисунок 1 – Технологическая схема гидрометаллургического способа переработки цинковых концентратов [1]

В основе гидрометаллургического метода заложено выщелачивание (растворение) оксида цинка разбавленной серной кислотой из предварительно обожженного концентрата (огарка). При выщелачивании цинк переходит в раствор в виде сульфата цинка по реакции:



При выщелачивании цинкового огарка в раствор частично переходят содержащиеся в нем компоненты (медь, кадмий, и др.). Качество получаемого электролитическим осаждением цинка зависит от чистоты раствора: чем чище поступает на электролиз раствор, тем более чистым получается товарный цинк. Поэтому перед электролизом раствор тщательно очищают от примесей.

Процесс электролитического осаждения цинка из очищенного раствора (электролита) протекает по следующей суммарной реакции:



Цинк при электролизе осаждается на катоде, а на аноде регенерируется серная кислота, необходимая для выщелачивания свежих порций огарка, и выделяется кислород. Катодные осадки цинка переплавляют и разливают в слитки.

Чистота электролита цинкового производства определяет процесс электроосаждения и качество катодного цинка.

Качество продукции, выпускаемой металлургическими предприятиями, определяется во многом, результатами химического анализа как металлов и сплавов, так и вспомогательного сырья. Современные методики анализа должны обеспечивать относительно быстрое и экономичное определение нормируемых компонентов с высокой воспроизводимостью и правильностью.

До настоящего времени в лабораториях металлургических предприятий для анализа сырья и материалов применяли преимущественно гравиметрические, титриметрические и спектрофотометрические методы [1], характеризующиеся невысокой селективностью, значительной продолжительностью и трудоемкостью, требующие использования больших объемов реагентов и индивидуальных приемов пробоподготовки с целью определения отдельных элементов. Во многих случаях необходимо предварительное выделение аналита, отделение или маскирование мешающих компонентов. Кроме того, установление состава ряда труднорастворимых материалов сопряжено с трудностью перевода образцов в раствор.

Электрохимический метод положительно зарекомендовал себя при анализе металлов и сплавов, поскольку имеет хорошие метрологические характеристики и позволяет определять как макро-, так и микроконцентрации компонентов. В электрохимических методах анализа (ЭМА) для нахождения содержания аналита измеряют электрические параметры анализируемых систем (электрическую проводимость, потенциал электрода, погруженного в исследуемый раствор, силу предельного диффузионного тока, количество электричества, прошедшего через раствор электролита, и т.п.), изменяющиеся в результате протекания определенных химических реакций. ЭМА характеризуются высокой чувствительностью и селективностью, воспроизводимостью и правильностью результатов, быстротой и простотой химической подготовки, возможностью одновременного определения нескольких компонентов. Процессы легко программируются и автоматизируются. Важной особенностью ЭМА является возможность использования их для анализа веществ не только в растворах, но и во всех других агрегатных состояниях. Наряду с водными растворами, в электроаналитике все шире используют водно-органические и органические среды.

Эти особенности ЭМА и создание многоцелевой автоматизированной аппаратуры привели к широкому использованию их в анализе и исследованиях. В металлургии ЭМА решают задачи определения большого числа элементов в самых широких диапазонах, начиная от  $10^{-6}$  до  $10^{-7}$  % и кончая определением основных компонентов. ЭМА успешно используют для аттестации стандартных образцов и спектральных эталонов материалов черновой и цветной металлургии, особенно в ГОСТах на методы химического анализа никелевых и медно-никелевых сплавов, а также цинка. Большой интерес представляют ЭМА для определения в цинковых электролитах вредной примеси фторид-иона, накапливающегося в цинковых растворах в количестве до 50-100 мг/л. В присутствии фтора в электролите возникает «трудная» сдирка катодного осадка цинка с алюминиевых катодов, а также получает развитие «дырочная» структура катодного осадка и разрушаются свинцовые аноды, что приводит к загрязнению катодного цинка свинцом [1].

Во время сдирки цинка ванну не отключают, вследствие чего вместе с нарушением целостности катодов нарушается токовый режим процесса электролиза. Если передача тока осуществляется по схеме анод – катод, то при извлечении катодов обесточивается часть анодов, что ведет к растворению цинка. Это нежелательное явление ведет к снижению технологических и экономических показателей [2].

Измерения массовой доли фтора выполнены потенциометрическим методом, основанным на определении концентрации ионов фтора в ацетатно-цитратном буферном растворе с pH 5,7 – 5,9 по измерению потенциала измерительного электрода (индикаторный электрод) ион (фторид) – селективного.

Разработка методики определения содержания фторид-иона потенциометрическим методом в нейтральных электролитах цинкового производства представляет весьма актуальную задачу. Для разработки методики было необходимо откалибровать титратор серии T50 компании MettlerToledo, построить и статистически обработать градуировочные характеристики определения фторид-иона потенциометрическим методом, провести метрологическое обоснование разработанной методики.

Для определения были приготовлены градуировочные растворы (ГР) с использованием СО (раствор фторид-ионов с концентрацией аналита 190 мг/дм<sup>3</sup>). Данные, необходимые для построения градуировочной характеристики (ГХ), указаны в табл. 1.

Таблица 1

*Результаты потенциометрического определения фторид-иона в градуировочных растворах*

N	1	2	3	4
C (F), мг/дм <sup>3</sup>	10,504	98,935	189,989	1005,95
E, мВ	5,5	28,6	36,7	120,2

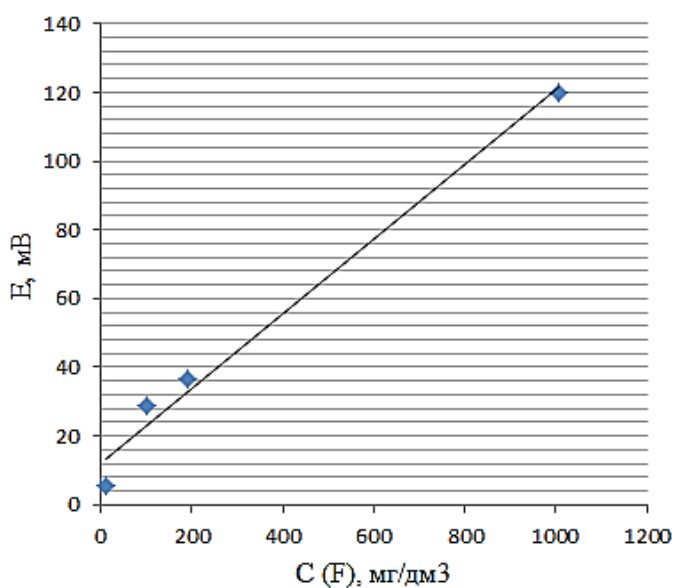
Примечание:

1) N – номер градуировочного раствора;

2) C(F) – содержание фтора в N-ом градуировочном растворе, мг/дм<sup>3</sup>;

3) E – среднее значение потенциала, мВ.

Используя полученные значения, построили градуировочную характеристику, отражающую зависимость потенциала от концентрации фторид-ионов в градуировочном растворе (мг/дм<sup>3</sup>) (рис. 2).



*Рисунок 2 – Зависимость потенциала от концентрации фторид-ионов в градуировочном растворе для потенциометрического анализа*

Статистическую обработку градуировочной характеристики проводили в соответствии с РМГ 54-2002 [3]. Построение линейной ГХ сводят к оценке коэффициентов  $a$  и  $b$  в уравнении вида (3):

$$y = a + bx. \quad (3)$$

Для сравнения погрешностей исходных данных вычисляют отношения относительных стандартных отклонений  $\gamma_n$  по формуле (4):

$$\gamma_n = \frac{S_{x_n} | \bar{y}_n |}{S_{y_n} | x_n |}. \quad (4)$$

Алгоритм оценки коэффициентов ГХ и ее вид выбирают в зависимости от соотношений погрешностей величин  $x_n$  и  $y_n$ , т.е. в зависимости от среднеарифметического значения  $\bar{\gamma}$ , определяемого по формуле (5):

$$\bar{\gamma} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \gamma_n. \quad (5)$$

Так как среднеарифметическое значение относительных стандартных отклонений  $\gamma \leq 0,4$ , градуировочную характеристику определяли методом наименьших квадратов.

Метрологическое обоснование разработанной методики проводили с позиций погрешности. Традиционный подход к оцениванию показателей качества методики основан на оценивании стандартного отклонения в условиях повторяемости и воспроизводимости, характеризующего случайную погрешность, а также смещения результата анализа, как характеристики систематической погрешности. Показатели прецизионности, правильности и точности методики оценивали согласно РМГ 61-2003 [4].

Для определения доверительных границ погрешности результата измерения доверительную вероятность  $P$  принимали равной 0,95. При оценке правильности в пределах всего диапазона определяемых содержаний компонента был использован стандартный образец. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

*Результаты оценивания показателей точности методики потенциометрического определения содержания фторид-иона в нейтральных электролитах цинкового производства*

Массовая доля определяемого компонента	Показатель сходимости $\sigma_{сх}(\Delta)$	Показатель воспроизводимости $\sigma(\Delta)$	Показатель точности $\pm\Delta$
От 40,0 до 80,0 вкл.	2,5	2,8	5,5
Св. 80,0" 160,0"	3,8	4,2	8,2

Практическая значимость работы заключается в возможности аттестации разработанной методики метрологической службой УК МК ТОО «Казцинк» и внедрения ее в практику аналитической лаборатории предприятия.

#### Список литературы

1. Марченко Н.В. Металлургия цветных металлов [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / Н.В. Марченко, Е.П. Вершинина, Э.М. Гильдебрандт. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 394 с.
2. Егоров В.В. Исследование и разработка технологии очистки растворов цинкового производства от фторид-ионов: дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2018.
3. РМГ 54-2002. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Характеристики градуировочных средств измерений состава и свойств веществ и материалов. Методика выполнения измерений с использованием стандартных образцов. – Введ. 2004-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 9 с.
4. РМГ 61-2003. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки. – Введ. 2005-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 38 с.

Получено 10.04.2020

МРНТИ 67.07.03

**В.И. Наумова, Е.А. Феокистова, С.Р. Кабылжапарова**Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск**РАЗВИТИЕ АРХИТЕКТУРЫ ДЕТСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*В данной статье рассматриваются вопросы использования полимерных материалов в архитектуре современных детских садов. Представлены аналоги архитектурных и художественных решений детских садов, которые являются важными аспектами образовательного процесса. Определены недостаточное качество, уникальность детских учреждений, которые могут стать движущим фактором образовательного процесса. Выявлено три основных этапа развития и использования полимерных материалов в типологии детских учреждений. Представлены современные тенденции эффективности полимерных материалов в архитектуре детских учреждений.*

*Бұл мақалада заманауи балабақшалардың архитектурасында полимерлік материалдарды қолдану мәселелері қарастырылады. Білім беру үрдісінің маңызды аспектілері болып табылатын балабақшалардың сәулеттік және көркемдік шешімдерінің ұқсастықтары ұсынылған. Білім беру процесінің қозғаушы факторы бола алатын балалар мекемелерінің сапасы, бірегейлігі жеткіліксіз анықталды. Балалар мекемелерінің типологиясында Полимерлік материалдарды дамыту мен пайдаланудың үш негізгі кезеңі анықталды. Балалар мекемелерінің архитектурасында полимерлік материалдар тиімділігінің қазіргі заманғы тенденциялары ұсынылған.*

*This article discusses the use of polymer materials in the architecture of modern kindergartens. The analogues of architectural and artistic solutions of kindergartens are presented, which are important aspects of the educational process. The insufficient quality and uniqueness of children's institutions are determined, which can become a driving factor in the educational process. Three main stages of the development and use of polymeric materials in the typology of children's institutions have been identified. The current trends are presented in the effectiveness of polymer materials in the architecture of children's institutions.*

**Ключевые слова:** полимеры, архитектура, детские учреждения, поливинилхлорид, политетрафторэтилен, этилен-тетрафторэтилен.

Каждый тип здания – архитектурный ответ на запрос общества, нуждающегося в материальной среде для организации социальных процессов. Детский сад не исключение, а скорее, объект, в архитектуре которого наиболее ярко отражаются тенденции общественного развития. Типологическая эволюция детского сада демонстрирует это изменением спектра возводимых зданий по вместимости, по назначению и по планировочной организации [1].

Научные изыскания в области педагогики, медицины наглядно показывают, насколько важно для раскрытия личности и развития ребенка социальная составляющая его жизни. Это включает в себя окружающую обстановку, развивающие игры, способствующие обучению коммуникативных навыков и работе в команде. Для полноценного воспитания большую роль играет эстетическая составляющая обстановки, включая внешний облик здания, фасад, интерьер внутренних помещений детских садов, игровых комнат и прочих зон детских учреждений [2]. Любая часть интерьера, включая мебель, игрушки, обучающие пособия и даже отделочные материалы с различной фактурой, выступает в роли предметно-пространственной среды. Так как в последние годы педагоги склоняются к тому, что обучение предпочтительно проводить в игровой форме, то становится явным, что требуется полное переоснащение существующих детских учреждений и качественно новый подход к архитектуре и декору строящихся объектов [3].

Архитектура детских учреждений отличается необычными формами, мобильностью, многофункциональностью. В то же время обстановка должна отвечать требованиям безопасности. Современные материалы на основе полимеров позволяют решить эти задачи.

Предметом исследования данной статьи является возможность внедрения и применения полимеров в архитектурных конструкциях и формах предметно-пространственной среды детских учреждений.

При обзоре исследования было выявлено, что ранее изучением вопроса применения полимеров в архитектуре занимались такие ученые, как А. Буров, А. Криппа, В. Мунц и Б. Иофан.

Исследуя этапы развития современных полимерных материалов в архитектуре зданий и сооружений можно заметить, что первый синтетический материал был получен в 1833 году, однако золотым веком в развитии полимерной промышленности стали 30-е годы XX века. Именно в этот период в широкое производство запущены такие материалы, как поливинилхлорид, полиэтилен, силиконовые полимеры [4].

В 1927 году архитектором Б. Фулером был воплощен в жизнь первый проект дома из пластика. Для его строительства использовались трехслойные панели из полиметилметакрилата и пенопласта [5].

В 1935 году был изобретен самый популярный в строительстве полимерный материал – стеклопластик. В послевоенные годы различные типы пластмасс, благодаря невысокой цене и доступности, находят широкое применение в качестве отделочных материалов для зданий и сооружений, а также как ограждающие конструкции [6].

В ходе исследования развития полимерных материалов с момента их синтеза и применения в строительстве было выделено три этапа: I этап – первая половина XX в., II этап – вторая половина XX в., III этап – первая половина XXI в. Полимерные материалы использовались в жилых домах, промышленных зданиях и общественных зданиях (включая детские учреждения).

В таблицах 1, 2, 3 условно представлены этапы развития современных полимерных материалов в архитектуре зданий и сооружений с 1927 года по 2019 год. В первом этапе преобладает использование поливинилхлорида. Во втором этапе появляются более технологичные полимерные материалы, такие как политетрафторэтилен. На третьем этапе выявлена тенденция использования таких высокотехнологичного полимерного материала, как этилен-тетрафторэтилен.

Таблица 1

*I этап (первая половина XX в.) развития современных полимерных материалов в архитектуре зданий и сооружений*

Год	Полимерный материал	Особенности зданий	Типы зданий		
			Жилые	Промышленные	Общественные
1927	Полиметилметакрилат и пенопласт	Б. Фулером был воплощен первый проект дома из пластика «Дай Мекин Хаус». Для его строительства использовались трехслойные панели из полиметилметакрилата и пенопласта.	✓	-	-
1929	поливинилхлорид	Разработка палаток, использующих накачанные воздухом камеры вместо палаточных стоек. Структурный принцип идентичен принципу постройки современных зданий на воздушной опоре и рассматривается как ценная концепция для многих крупных мембранных сооружений.	-	-	✓
1933	поливинилхлорид	«Винилайтхаус», представленный на Чикагской выставке, имел панели из поливинилхлорида 240 x 70 см толщиной 5 см и полы из поливинилхлоридных плит.	✓	-	-
1933	полиметилметакрилат и пенопласт	Для здания конторы фирмы «Васко» использовали трехслойные панели из полиметилметакрилата и пенопласта.	-	-	✓

Поливинилхлорид (PVC), представляющий собой мембраны из полиэфирного волокна с PVC покрытием, получил широкое распространение в мембранной архитектуре и способствует нахождению экономичных решений. Свойства PVC: светопроницаемый, теплоизоляционный, долговечный, требующий минимального ухода, классический, прочный и экономичный материал. Области применения: спортивные арены, торговые центры, терминалы аэропортов, музеи, театры, развлекательные комплексы.

Таблица 2

*II этап (вторая половина XX в.) развития современных полимерных материалов  
в архитектуре зданий и сооружений*

Год	Полимер- ный мате- риал	Особенности зданий	Картинка	Типы зданий		
				Жилые	Про- мышлен- ные	Общес- твенные
1	2	3	4	5	6	7
1956	стекло- пластик	«Дом-улитка» из стеклопла- стика. Франция. Архит. И. Шейн. Дом полностью – от несущих конструкций до предметов обстановки – по- строен из пластмасс [8].		✓	-	-
1957	пласт- масса	Дом будущего. США. Архит. Г. Дитц		✓	-	-
1957	тетра- фтор- этилены	Tanzpavillon, Bundesgarten- schau – танцевальный пави- льон на Федеральной выстав- ке садоводства и лэнд- архитектуры. Дизайн Фраем Отто.		-	-	✓
1962	пластмас- са	Советские архитекторы по- строили в Ленинграде экспе- риментальный дом из пласт- масс для испытания его в су- ровых климатических усло- виях.		✓	-	-
1967	поли- винилхло- рид, тет- рафторэти- лен	Растяжимая мембрана Фрей Отто была использована в западно-германском павиль- оне Экспо		-	-	✓
1970	поли- винилхло- рид, тетра- фторэти- лен	Международная выставка Экспо '70, Осака, Япония, – в павильоне США, впервые было продемонстрировано применение мембранной конструкции на воздушной опоре [10].		-	-	✓
1990	политет- рафтор- этилен	Olympic Stadium Rome. Ме- сто проведения финальной игры чемпионата по футболу, 1990 г.				✓
1994	поли- тетрафто- этилен	Kansai International Airport. Аэропорт находится в 5 км от берега в море на искусствен- ном насыпном острове. Дли- ной 4 км, шир. 1,2 км		-	-	✓



Окончание таблицы 2






1	2	3	4	5	6	7
1998	политет- рафтор- этилен	Millennium Dome. Развлекательный комплекс. Архитектор: Richard Rogers Partnership. Гринвич, Лондон, Англия		-	-	✓
1999	политет- рафтор- этилен	William Younger Centre / Dynamic Earth Project. Эдинбург, Шотландия		-	-	✓

Таблица 3

*III этап (первая половина XXI в.) развития современных полимерных материалов в архитектуре зданий и сооружений*

Год	Полимерный материал	Особенности зданий	Картинка	Типы зданий		
				Жилые	Пром.	Обществ.
2001	полиэстер, поливинилхлорид	VolksparkStadion Архитектор Manfred O. Steuerwald. Площадь: 35000 м <sup>2</sup> . Расположение: Гамбург, Германия		-	-	✓
2001	полиэстер, поливинилхлорид	Theater im Hafen. Театральный зал вместимостью более 2000 мест. Германия. Архитектор Klaus Latuske		-	-	✓
2002	политетрафторэтилен	Kindergarten Wolfartsweier (Карсруэ, Германия). Архитектор Tomi Ungerer		-	-	○
2011	PTFE-политетрафторэтилен с покрытием TiO <sub>2</sub> оксид титана	Main-Taunus Zentrum, открытый еще в 1964 году. Этот торговый центр был первым, созданным по американскому образцу.		-	-	✓
2012	этилен-тетрафторэтилен (etfe) однослойный, прозрачный	Развлекательный центр. Centre Commercial Du Parc Des Vergers De La Plaine (Шамбурси, Франция). Впечатляющие конструкции кровли, прозрачный дизайн, отражение света.		-	-	✓

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7
2012	политетрафторэтилен, поливинилхлорид, полиэстер	Опера Leśna (Сопот, Польша). Театр, музыка или опера: под эффектной крышей открытой сцены артисты и зрители всегда найдут защищенное место.		-	-	✓
2012	политетрафторэтилен	Loor Kindergarten (Тяньцзинь, Китай)		-	-	✓
2014	политетрафторэтилен	Детский сад – Kanaya Kindergarten. Архитектор: ISHIJIMA ARCHITECTS Hisakazu Ishijima		-	-	✓
2016	политетрафторэтилен	Детский сад – SUURPELTO KINDERGARTEN		-	-	✓
2018	политетрафторэтилен	Детский сад - Songshan Lake Kindergarten (Китай)		-	-	✓
2018	политетрафторэтилен	Детский сад Nová Ruda. Архитектор: Petr Stolin Architekt		-	-	✓
2019	политетрафторэтилен	Детский сад финского городка Юттери (Колпино, Россия)		-	-	✓

Таким образом, полимерные материалы в архитектуре детских учреждений начали использоваться на III этапе (начале XXI века) развития полимерных материалов в архитектуре.

На сегодняшний день происходит стремительное развитие строительных технологий, что позволяет современным архитекторам и конструкторам воплощать в жизнь нестандартные решения в архитектуре детских учреждений. Например, инновационный материал этилен-тетрафторэтилен (ETFE), изобретенный в конце XX века, является одним из наиболее перспективных открытий в строительной отрасли [11]. С применением таких полимерных материалов, как этилен-тетрафторэтилен, поливинилхлорид, политетрафторэтилен, архитекторы создают самые непредсказуемые формы для дошкольных учреждений. Необычный дизайн, планировка фасада, организация внутренних помещений привлекают не только детей, но и взрослых [12].

Интерес представляет отечественный и зарубежный опыт проектирования полимерных материалов в архитектуре детских учреждений. В СССР и странах содружества понятие «детского сада» появилось в начале 20-х годов, а типология проектирования и унификация строительных конструкций давали возможность быстро возводить детские учреждения.

Отсутствие специфических особенностей архитектуры зданий детских учреждений, основанных на выявлении зрительных ориентиров, способствует возникновению депрессивного состояния у детей, апатии, которые в последующем (у взрослого человека) могут смениться проявлением агрессии.

В этой связи актуальным становится прогнозирование и развитие комплексной модели здания детского учреждения в рамках соответствия функционально-планировочной гибкости, конструктивной рациональности, индивидуальности и оригинальности архитектурного облика, с учетом современных требований к архитектурной среде для дошкольного образования, развития её в будущем [13].

Современная практика архитектурного проектирования зданий детских учреждений в Казахстане демонстрирует недостаточную подготовленность архитекторов и заказчиков к интенсивному внедрению изменений.

Планировочные и объёмно-пространственные параметры архитектуры зданий отстают от соответствия «современной системе дошкольного образования, которая строится на принципах динамизма, вариативности организационных форм, гибкого реагирования на потребности общества и личности» [14], что особо затрудняет внедрение перспективных образовательных методик и воспитательных программ.

Ребенок получает 90 % информации через зрение. Свойственная детям повышенная активность и излишняя эмоциональность объясняют потребности детской психики в постоянном поиске зрительной информации, и здание детского сада – это основное место, где ребенок получает опыт широкого эмоционально-практического взаимодействия с окружающим миром (предметами, их формой и цветом) [15].

До начала XX века в зарубежных странах не было типовых жилых детских садов. Не было понятия «детского сада», а существовали стандарты с определенной комплектацией обслуживания, зонированием и т.д. Единый непрерывный образовательный процесс прямым образом влиял на архитектуру детских учреждений. В зарубежных странах проявлялась сильная степень стилизации. Каждый проект детского сада был индивидуальный и имел специализированный характер (табл. 4). Это благотворно влияло на детей с ограниченными возможностями, а также способствовало активному развитию инклюзивного образования.

Например, в Швеции есть школа без привычных классных комнат: в ней нет отдельных кабинетов с ровными рядами столов и стульев; помещение делится на зоны разного назначения (для группового и индивидуального обучения, для отдыха); есть лаборатория, где проводятся практические занятия. Уроки проходят в неформальной обстановке, которая стимулирует творческое развитие детей. Прозрачная крыша из мембраны политетрафторэтилена способствует естественному освещению, делает пространство более открытым, не препятствует слиянию с природой. Приём цветового и светового зонирования реализуется с применением цветного и тонированного полимер-стекла в качестве материала, который изменяет пространственные характеристики [16].

Таблица 4

*Архитектура детских садов в Казахстане и за рубежом*

Детские сады в Казахстане	Детские сады зарубежья
	

В зарубежных садах делают акцент на тактильные ощущения [17]. В детском учреждении на поверхности стен комбинировали фактурные участки: гладкие (глянцевые и матовые) и шероховатые, наряду с твердой поверхностью использовали полутвердые (дерево, пластик), мягкие и эластичные (из резиновой крошки, полимерных основ) [18].

В Париже в тесном промежутке между высотными жилыми домами удалось встроить детский сад «Пикар». Здание закручивается вокруг себя, как раковина улитки. Фасад оформлен в виде ярких окон-дверей [19].

Можно отметить, что это комплексный подход к детским учреждениям. К комплексу можно отнести некоторые особенности, такие как отношение коллектива и социума, медицинское обслуживание, комплекс спортивных мероприятий, необходимых в развитии ребенка, музыкальное обучение, хореографические классы.

Современные тенденции в строительстве детских учреждений функциональность, привлекательность и безопасность для детей [20]. Ради этого архитекторы не боятся отступать от многовековых традиций, экспериментируя с оригинальными решениями, используя современные полимерные материалы, имеющие такие свойства, как легкость, прозрачность, долговечность, самоочищение, огнестойкость, экологичность. Анализируя этапы развития современных полимерных материалов в архитектуре зданий и сооружений, становится очевидным эффективность использования политетрафторэтилена.

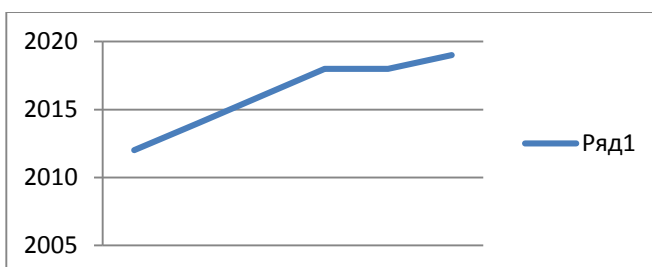


Рисунок 1 – Годы использования политетрафторэтилена в архитектуре детских садов

Политетрафторэтилен используется в архитектуре детских учреждений с 2012 года. В диаграмме 1 можно заметить, что начиная с 30-х годов XX в., когда случился научный прорыв в изучении полимеров, их стали активно использовать в архитектуре жилых, промышленных и общественных зданий.

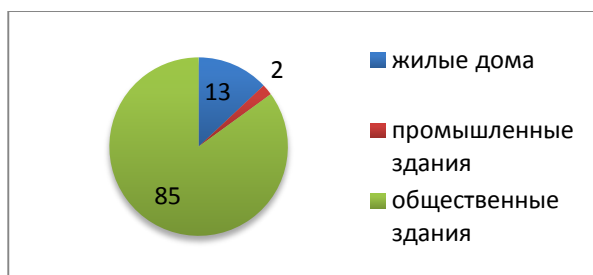


Диаграмма 1 – Использование полимерных материалов в архитектуре жилых, промышленных и общественных зданий (1927-2019 гг.)

В 7-ми из 85-ти процентов общественных зданий полимеры использовались в архитектуре детских учреждений (диаграмма 2).

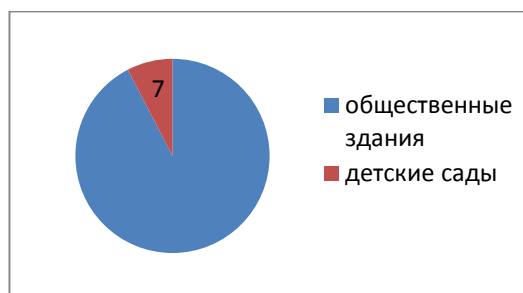


Диаграмма 2 – Использование полимерных материалов в архитектуре детских учреждений (1927-2019 гг.)

Таким образом, можно проследить рост использования высокотехнологичных полимерных материалов в архитектуре детских учреждений начиная с 2012 года. Благодаря их свойствам из них можно реализовывать самые смелые творческие идеи архитекторов.

На основании анализа истории развития современных полимерных материалов в архитектуре зданий и сооружений было выделено три этапа развития современных полимерных материалов в архитектуре зданий и сооружений. Данное исследование прогнозирует изменения в архитектуре детских учреждений в Казахстане. Рекомендуется использовать эффективные современные полимерные материалы, такие как этилен-тетрафторэтилен (ETFE) и политетрафторэтилен (PTFE). Прогнозируется, что в будущем привычными станут планировочные приемы создания центральных многофункциональных пространств, свободной компоновки объемов, ориентированной на оптимизацию естественного освещения помещений, конструктивные решения, облегчающие монтаж и эксплуатацию технических систем. Все это изменит сложившиеся типологические черты детского учреждения и сделает его архитектуру более выразительной и уникальной.

#### Список литературы

1. Моделирование образовательного развивающего пространства нового уровня в современном образовательном учреждении (статья) Антонелене Э.Н., 2011.
2. Арнхейм Р. Искусство и визуальное восприятие / Р. Арнхейм. – М.: Архитектура-С, 2007. – 392 с.: илл.
3. Банникова Л.П. Роль дошкольных образовательных учреждений в формировании здоровья детского населения: автореф. дис. ... д-ра мед. наук / Л.П. Банникова. – Оренбург, 2007. – 24 с.
4. Лекарева Н.А. Моделирование как творческий метод в высшем образовании архитектора // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 7. – с. 97-99;
5. Арнхейм Р. Искусство и визуальное восприятие / Р. Арнхейм. – М.: Архитектура-С, 2007. – 392 с.: илл.

6. Aktiv - Passiv. Neubau Kindergarten Amstetten-Eggersdorf // Intelligente Architektur / AIT Spezial ISSN: 0949-2356, Nr.65, 2008. – Seite 30-35.
7. Auf dem Prüfstand. Passivhausschule in Frankfurt-Riedberg. Planende Institution: 4a Architekten GmbH (Architekt) // Intelligente Architektur / AIT Spezial. ISSN: 0949-2356. Nr.65, 2008. – Seite 64-68.
8. Passivhausschule Frankfurt Riedberg. Messtechnische Untersuchung und Analyse. / Dr. Wolfgang Feist. Passiv Haus Institut. / Auftraggeber Hochbauamt der Stadt Frankfurt a.M. / Mit Fördermitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. – Stadt Frankfurt a.M., 2007. – 189 S.
9. LeCuyer, A. ETFE Technology and Design [Text]. / Graphic design: Esther Mildenerberger. – Berlin.: Birkhauser Verlag AG, 2008. – 160 p.
10. Tokyo Dome [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://archspeech.com/object/mnogofunkcional-nyu-kompleks-akter-gelaksi-v-sochi> (дата обращения: 08.12.2019).
11. Стадион Allianz Arena / Allianz Arena. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://archi.ru/projects/world/85/stadion-allianz-arena> (дата обращения: 08.12.2019).
12. ETFE FOIL SYSTEMS, ETFE Advantages. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tensaform.com/en/products/etfe-foil-systems/etfe-advantages/> (дата обращения: 08.12.2019).
13. ETFE Foil: A Guide to Design. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.architen.com/articles/etfe-foil-a-guide-to-design/> (дата обращения: 08.12.2019).
14. Детский сад - Songshan Lake Kindergarten [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fosterandpartners.com/projects/Songshan-Lake-Kindergarten/#gallery> (дата обращения: 08.12.2019).
15. National Swimming Center (Water Cube). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://openbuildings.com/buildings/national-swimming-center-water-cube-profile-3570> (дата обращения: 09.12.2019).
16. The Eden Project: The Biomes Cornwall, UK. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://grimshaw.global/projects/the-eden-project-the-biomes/>
17. Canny Village. New project education and culture // Interio world magazine South Korea. – 2006. – P. 124-133.
18. Cradleboard Elementary. Интерьер музыкального зала. – URL: <http://www.monolithic.com/stories/cradleboard-elementary/photos>.
19. Ganghwa Tidal Flat Centre. New project education and culture // Interio world magazine South Korea. – 2006. – P. 174-183.
20. Lotte Samkang Field Tour Centre. New project education and culture // Interio world magazine South Korea. – 2006. – P. 148-157.

Получено 10.04.2020

---

УДК 625.25

**Д.К. Саканов**

РГП «Национальный центр качества дорожных активов», г. Нур-Султан

#### МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

*В статье рассматриваются вопросы оценки качества цементобетонных покрытий автомобильных дорог при диагностике и в процессе мониторинга их состояния.*

*Мақалада цемент-бетон жолдары жамылғысының сапасын диагностикалау мен күйін бақылау арқылы бағалау мәселелері қарастырылады.*

*The article discusses the issues of assessing the quality of cement concrete coatings of roads in the diagnosis and in the process of monitoring their condition.*

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, цементобетонные покрытие, методы, диагностика, мониторинг состояния.

Оценка качества цементобетонных покрытий при приемке их в эксплуатацию или при диагностике дорог в процессе мониторинга их состояния представляет собой сложную инженерную задачу. Наличие разнообразных дефектов как в материале, так и в армирующих элементах создает



дополнительные проблемы при попытке обнаружить и оценить повреждения. Еще одну сложность при оценке покрытия представляет то, что доступ к покрытию возможен только с одной стороны – сверху. Поиск эффективных неразрушающих методов диагностики цементобетонных дорожных покрытий продолжается в мире до настоящего времени.

Большинство известных методов можно разделить на 3 группы: 1 – электромагнитные методы, 2 – метод упругих волн, 3 – метод прогибов. Ниже рассмотрен каждый из методов.

#### *1. Электромагнитные методы*

Электромагнитные методы включают в себя методы и устройства, которые используют электромагнитную энергию, вызывающую возбуждение в исследуемой среде с последующим анализом реакции материала. При этом используются такие технологии, как электрический импеданс, электромагнитная волна, магнитный резонанс и инфракрасная термография [1]. Данные методы широко используются в различных областях науки. Физически недоступные аномалии или дефекты могут быть обнаружены как в проводящих, так и в диэлектрических материалах путем создания двумерного или трехмерного изображения, основанного на электромагнитных принципах.

В зависимости от типа используемой энергии или уровня частоты, для диагностики бетонного покрытия могут использоваться различные электромагнитные датчики или преобразователи. Наиболее важными методами неразрушающего контроля, применяемыми для бетонных покрытий, являются инфракрасная термография, магнитно-импульсная индукция и георадарные технологии.

*Инфракрасная термография.* Собранные данные о температуре используются для отображения температурного контура объекта (рис. 1).



Рисунок 1 – Оборудование для инфракрасной термографии

Неоднородности проявятся как локальные теплые или холодные области. На основании тепловых аномалий в полученной тепловой цветовой карте можно обнаружить дефекты или проблемные области, имеющиеся на поверхности покрытия [1, 2, 3].

При проведении инфракрасных испытаний в полевых условиях можно установить инфракрасную камеру с помощью штативов или опор, прикрепленных к транспортному средству, чтобы можно было охватывать большие площади за короткое время [4].

*Магнитная импульсная индукция.* Магнитно-импульсная индукция основана на обнаружении проводящих металлических объектов-мишеней, расположенных в средах, которые благодаря своим магнитным и электрическим свойствам взаимодействуют с полями, передаваемыми детекторами металла. В бетонных покрытиях встроенные металлические объекты могут быть обнаружены путем анализа распределения вихревых токов, вызванных приложенным магнитным полем, и помех, вызванных самоиндукцией металлического объекта. Положение, размер, форма и ориентация металлических включений в бетонных покрытиях могут быть точно идентифицированы с помощью магнитно-импульсной индукции [3]. Однако этот метод нельзя использовать для обнаружения неметаллических дефектов и поверхностных аномалий [5]. На рис. 2 и 3 приведены примеры устройств, которые работают с магнитно-импульсным методом индукции.



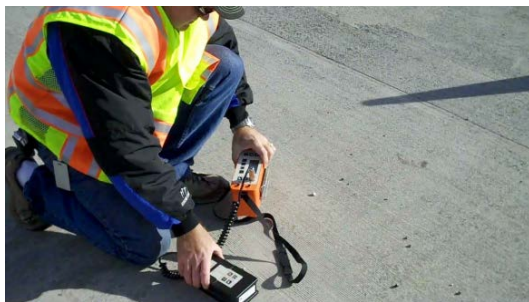


Рисунок 2 – Магнитно-импульсное индукционное устройство и его применение на бетонном покрытии



Рисунок 3 – MIT Scan-2: магнитно-импульсное индукционное устройство и его применение на бетонном покрытии

*Георадарная диагностика.* Георадарная съемка относится к геофизическому методу, при котором источник испускает короткие электромагнитные импульсы в объект испытания и регистрирует отраженные сигналы. Прибор обычно состоит из антенны, системы сбора данных, прибора для измерения расстояния, транспортного средства или тележки и дополнительного GPS [3, 6, 7, 8] .

В зависимости от настройки устройства, георадары классифицируются как системы с воздушной или наземной связью. На рис. 4 показан пример наземной антенны 2,6 ГГц, а также пример выходного сигнала георадара, где можно наблюдать параболические отражения из-за наличия дюбелей, встроенных в поперечный шов цементобетонного покрытия [3, 7].

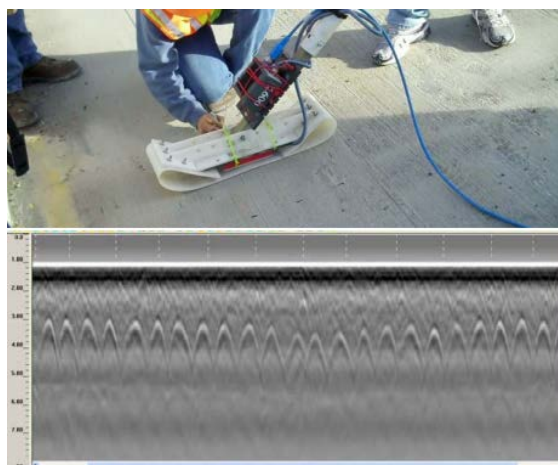


Рисунок 4 – Контактный георадар и пример выходного сигнала на поперечном шве цементобетонного покрытия (приведено по [3])

Пример георадара с воздушной связью показан на рис. 5. Исследования показывают, что данные можно собирать на значительно высокой скорости (фактически скорости потока автомобилей), однако более высокая скорость влияет на точность сбора данных, например будет затруднено обнаружение неоднородных трещин.



Рисунок 5 – Георадар, монтируемый на автомобиле, для скоростного измерения дорожного покрытия

Существуют различные методы анализа отраженного сигнала и выявления аномалий, металлических включений, а также их глубины и местоположения в покрытии [9, 10, 11, 12]. Результаты показывают, что георадар хорошо работает в одних ситуациях, но не так хорошо в других. Это частично связано с диэлектрическими свойствами композиционных материалов в тестовой среде [13]. На сигналы георадара также сильно влияют такие условия окружающей среды, как влажность [14]. Наилучшие результаты достигаются в тех случаях, когда имеется наибольший диэлектрический контраст между интересующей аномалией и исследуемой средой. В зависимости от типа материала, лежащего между аномалией и поверхностью покрытия, георадар может использоваться для обнаружения как металлических, так и неметаллических объектов на глубине до 15 м.

## 2. Метод упругих волн

Методы на основе упругих волн включают применение силы, вызывающей возмущение в упругих или вязкоупругих материалах, что приводит к распространению упругих волн в исследуемой среде [3, 8, 15]. В зависимости от среды их распространения различают два типа волн напряжения: объемная волна и поверхностная волна. Когда материал подвергается кратковременному внешнему воздействию, его поведение может быть описано на основе искажения и последующего перемещения составляющих его частиц. Соответственно, различают 2 вида объемных волн [8]: Р-волны, также известные как продольные, первичные волны или волны сжатия, относятся к тем объемным волнам, которые заставляют частицы двигаться параллельно направлению распространения волны; S-волны, также известные как поперечные волны или волны сдвига, относятся к объемным волнам, которые вызывают движения частиц, перпендикулярных направлению распространения. R-волна, также известная как волна Рэлея, представляет собой комбинацию Р- и S-волн, в которых частицы движутся в ретроградном эллиптическом направлении [3, 16, 17].

Р-волна имеет наименьшую энергию и может распространяться в различных средах, включая твердое вещество, жидкость и газ. Эта способность позволяет проводить оценку бетонного покрытия [3, 18, 19, 20], однако небольшая энергия препятствует глубокому проникновению упругих волн в среду. S-волна имеет более высокое содержание энергии, для ее распространения требуется твердая среда. По этой причине излучаемые S-волны способны проникать глубже в бетонное покрытие [3]. Наибольшую энергию имеют R-волны. Волна такого типа может распространяться только по поверхности на глубине, приблизительно равной ее длине.

Скорость волны в среде коррелирует с жесткостью материала. Это свойство делает отражение упругих волн очень чувствительным к аномалиям, таким как трещины, пустоты, расслоение или любое место в исследуемой среде, которое имеет резкое изменение плотности и скорости прохождения волны [21, 22]. Кроме того, в зависимости от типа поверхности раздела материала, которая вызвала отражение, фаза отраженной волны различна, что позволяет идентифицировать тип аномалии [23]. Следовательно, упругие волны могут быть полезны при обнаружении подповерхностных особенностей в бетонном покрытии, таких как дефекты, включения и границы слоев [3, 8].

**Ударное эхо.** Ударное эхо – это метод неразрушающего контроля, при котором генерируются упругие волны, такие как Р-, S- и R-волны, используя механическое воздействие или ультразвуковой импульс [3, 8, 24]. В этом случае механическое воздействие осуществляется с использованием круглого металлического стержня [25], и отраженные волны записываются и интерпретируются, как правило, на основе спектрального анализа [14, 22].

Недостатком метода является длительная процедура испытаний, особенно для поверхностей со сложной геометрией [26].

**Спектральный анализ поверхностных волн.** Методика спектрального анализа поверхностных волн включает генерацию, дисперсию и измерение поверхностных волн. Как показано на рис. 6, два приемника расположены на поверхности покрытия, а воздействие, содержащее диапазон частот, передается на покрытие с помощью ударника [27]. Исследования показывают, что волны Рэлея (R-волны) предоставляют более точную информацию по сравнению с S- и P-волнами [26].



Рисунок 6 – Пример оборудования для спектрального анализа поверхностных волн: портативный сейсмический анализатор покрытия (приводится по [27])

Наиболее сложным шагом в анализе с использованием этого метода является процесс инверсии, который является аналитическим решением для получения профиля скорости упругих волн. Этот метод использовался для оценки жесткости бетонного покрытия и других свойств.

**Скорость ультразвукового импульса.** Скорость ультразвукового импульса включает излучение и прием импульса упругой волны ультразвуковыми преобразователями, расположенными на исследуемой поверхности. Скорость волны измеряется с использованием расстояния между датчиками и времени прохождения волны. Тестовая установка метода состоит из передатчика, приемника и таймера для записи времени прохождения волны (рис. 7) [3, 28].

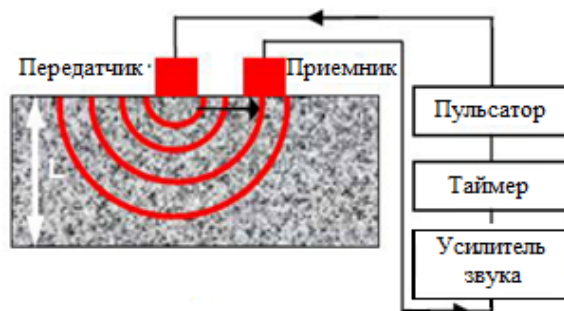


Рисунок 7 – Тест по методу скорости ультразвукового импульса (приводится по [8])

### 3. Методы, основанные на измерении прогиба

Методы, основанные на прогибе, оценивают свойства дорожного покрытия (главным образом структурные свойства) на основе измеренных прогибов на поверхности дорожного покрытия, вызванных внешней нагрузкой. В зависимости от загрузки и ее приложения доступны различные методы.

Стационарное оборудование для измерения динамического прогиба, такое как Dynaflect (рис. 8) и Road Rater, использует статическую предварительную нагрузку и динамическую (синусоидальную) вибрацию [29]. Устройства могут измерять чашу прогиба, используя геофоны. Dynaflect – это электромагнитная система для измерения динамического смещения поверхности, вызванного колебательной нагрузкой.



Рисунок 8 – Общий вид установки Dynaflect

Все оборудование монтируется на небольшом прицепе. Установкой создается синусоидальная нагрузка с частотой 8 циклов в секунду с использованием специального генератора. Нагрузка передается на покрытие через пару жестких колес, опускаемых на покрытие во время измерений. Общее усилие, прикладываемое на покрытие, складывается из общего веса прицепа 907 кг (2000 фунтов) и динамической силы, которая попеременно добавляется и вычитается из этого веса. Динамическая сила от пика до пика нагрузки составляет 1000 кг.

Прогиб, возникающий на покрытии от действия нагрузки, регистрируется при помощи датчиков (акселерометров, сейсмометров и т.п.). При использовании нескольких датчиков установка может измерять чашу прогиба (рис. 9).

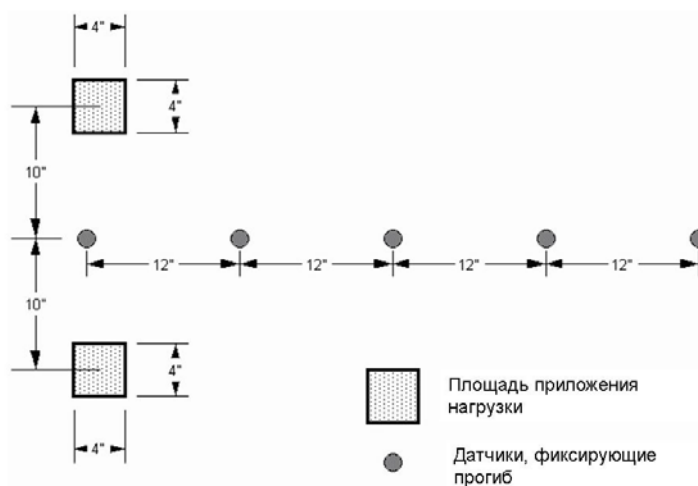


Рисунок 9 – Типовая схема расположения датчиков при проведении измерений (приводится по [29])



Оборудование для измерения прогиба от действия динамической нагрузки, такое как дефлектометр падающего груза (FWD) и легкий дефлектометр (LWD), более реалистично отображает влияние движущихся колес на дорожное покрытие, применяя синусоидальные нагрузки к поверхности дорожного покрытия, аналогичные по величине и продолжительности нагрузке от нагрузки на одиночное колесо автомобиля. Историю развития прогиба, обеспечиваемую этим оборудованием, можно использовать для определения структурных свойств дорожного покрытия, таких как модули упругости и несущая способность слоев дорожного покрытия. В настоящее время это оборудование используется для этих целей наиболее широко.

Оборудование для непрерывного измерения прогиба – TSD (*Traffic Speed Deflectometer*) основано на использовании лазерной измерительной техники. Дефлектометр представляет собой специальный прицеп, буксируемый стандартным седельным тягачом (рис. 10). Прицеп оборудован системой нагружения, точно обеспечивающей требуемую нагрузку на ось, системой лазерных датчиков, гироскопов, акселерометров, датчиком пути, специальным программным обеспечением.

Во время движения автомобиля дорожная одежда под нагруженным колесом прогибается. Два лазерных датчика измеряют вертикальное перемещение поверхности дорожного покрытия. Различие между уровнем нагруженной и разгруженной поверхности используется как характеристика фактического прогиба покрытия под действием грузовика с известным весом. При помощи этого метода можно определить скорость нарастания прогиба дорожной поверхности. Чтобы измерения были точными, система сервомоторов непрерывно управляет положением лазерных датчиков. Лазерное оборудование установлено на балке перед нагруженным колесом. Воздействие колеса на дорожное покрытие с нагрузкой 50 кН вызывает реакцию дорожной одежды, которая фиксируется двумя вертикальными лазерными датчиками. Длина прицепа такова, чтобы устранить влияние самого тягача на прогиб от прицепа.



Рисунок 10 – Общий вид дефлектометра TSD (приводится по [29])

При увеличении количества датчиков появляется возможность измерять чашу прогиба, что позволяет определять прочностные свойства нижележащих слоев дорожной одежды. Это устройство не так точно, как FWD, но может отслеживать участки с потенциальными проблемами. Затем более подробные оценки могут быть выполнены с использованием FWD.

На основании оценок, выполненных с помощью упомянутых выше методов неразрушающего контроля можно получить информацию о различных повреждениях дорожного покрытия, их местонахождении, свойствах и конструктивных особенностях дорожного покрытия. Такая информация может иметь основополагающее значение для многих применений, таких как обеспечение качества строительства дорожного покрытия, техническое обслуживание, принятие решений в системах управления дорожным покрытием и другие.

Также методы неразрушающего контроля позволяют оценить структурную целостность дорожного покрытия и могут использоваться как часть программы обследования состояния дорожного покрытия наряду с другими традиционными методами диагностики, такими как измерение прогиба, шероховатости, коэффициента сцепления, визуальная оценка, геометрические измерения, оценка состояния водоотвода.

К материалам на основе цемента, особенно в раннем возрасте, часто применяют метод отражения ультразвуковых волн. Этот метод является более предпочтительным по сравнению с другими методами тестирования бетона в раннем возрасте, поскольку позволяет вести непрерывный сбор данных, обеспечивает односторонний доступ к измерениям и прямое получение информации о механических и микроструктурных свойствах тестируемой среды [30].

Приведенный анализ диагностики цементобетонных покрытий позволяет выбрать приемлемые методы оценки их качества.

#### Список литературы

1. Al-Qadi, Imad L., Zhen Leng, S. Lahouar, and J. Baek. «In-place hot-mix asphalt density estimation using ground-penetrating radar». *Transportation Research Record // Journal of the Transportation Research Board* 2152. – No. 1 (2010). – P. 19-27.
2. Maser, K.R. and Roddis, W.M.K. (1990). Principles of thermography and radar for bridge deck assessment // *Journal of transportation engineering*, 116. – P. 583-601.
3. Hoegh, Kyle Edward. (2013). Ultrasonic linear array evaluation of concrete pavements. Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy. – <http://purl.umn.edu/155823>.
4. Halabe, U. B., Vasudevan, A., Klinkhachorn, P. & Gangarao, H. V. S. 2007. Detection of subsurface defects in fiber reinforced polymer composite bridge decks using digital infrared thermography // *Nondestructive Testing and Evaluation*, 22. – P. 155-175.
5. Rao, S., Hoegh, K., Yu, T. & Khazanovich, L. 2009. Evaluation of dowel alignment constructability in Portland cement concrete pavements. *Transportation Research Record // Journal of the Transportation Research Board*, 2098. – P. 86-93.
6. Hoegh, K. and Khazanovich, L. (2015). Extended Synthetic Aperture Focusing Technique for Ultrasonic Imaging of Concrete // *NDT & E International*. – doi:10.1016/j.ndteint.2015.05.001.
7. Cao, Y., Labuz, J. and Guzina, B. (2011). Evaluating a Pavement System Based on GPR Full-Waveform Simulation // *Transportation Research Board 90th Annual Meeting*.
8. Al-Qadi, Imad L., Zhen Leng, S. Lahouar, and J. Baek. In-place hot-mix asphalt density estimation using ground-penetrating radar // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2152, no. 1 (2010): 19-27.
9. Abdallah, I.N., Williams, R. & Nazarian, S. «Application of Data Fusion Using Fuzzy Logic Method to Nondestructive Evaluation of Pavements». *Transportation Research Board 88th Annual Meeting*, 2009.
10. Clemena, G. G. 'Short-pulse radar methods', in the 'CRC Handbook on Nondestructive Testing of Concrete', Malhotra and Carino/Editors (CRC Press, 1991).
11. Economou, N., Vafidis, A., Hamdan, H., Kritikakis, G., Andronikidis, N. and Dimitriadis, K. (2012). Time-varying deconvolution of GPR data in civil engineering // *Nondestructive Testing and Evaluation*, 27. – P. 285-292.
12. Loulizi, Amara. «Development of ground penetrating radar signal modeling and implementation for transportation infrastructure assessment»: PhD diss., Virginia Polytechnic Institute and State University, 2001. – <https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/26133>.
13. Evans, Robert, Matthew Frost, Martyn Stonecliffe-Jones, and Neil Dixon. «Assessment of in situ dielectric constant of pavement materials». *Transportation Research Record // Journal of the Transportation Research Board* 2037. – No. 1 (2007). – P. 128-135.
14. Scott, M., Rezaizadeh, A., Delahaza, A., Santos, C. G., Moore, M., Graybeal, B. and Washer, G. (2003). A comparison of nondestructive evaluation methods for bridge deck assessment // *NDT & E International*, 36. – P. 245-255.
15. Soize, Christian. «Maximum entropy approach for modeling random uncertainties in transient elastodynamics» // *The Journal of the Acoustical Society of America* 109. – No. 5 (2001). – P. 1979-1996.
16. Krstulovic-Opara, N., Woods, R. D. & Al-Shayea, N. 1996. Nondestructive testing of concrete structures using the Rayleigh wave dispersion method // *ACI Materials Journal*, 93.

17. Zhu, J., Popovics, J. S. and Schubert, F. (2004). Leaky Rayleigh and Scholte waves at the fluid–solid interface subjected to transient point loading // The Journal of the Acoustical Society of America, 116. – P. 2101.
18. Bhardwaj, M. C., Neeson, I. & Stead, G. 2000. Introduction to contact-free ultrasonic characterization and analysis of consolidated materials. NDT. net, 5.
19. Green JR, R. E. 2004. Non-contact ultrasonic techniques. Ultrasonics, 42. – P. 9-16.
20. Luukkala, M. & Meriläinen, P. 1973. Metal plate testing using airborne ultrasound // Ultrasonics, 11. – P. 218-221.
21. Kellezi, L. 2000. Local transmitting boundaries for transient elastic analysis. Soil dynamics and earthquake engineering, 19. – P. 533-547.
22. Sansalone, M., Carino, N.J. & Hsu, N.N. 1987. A finite element study of transient wave propagation in plates // Journal of research of the National Bureau of Standards, 92. – P. 267-278.
23. Keefe, D.H., Ling, R. & Bulen, J.C. 1992. Method to measure acoustic impedance and reflection coefficient // The Journal of the Acoustical Society of America, 91. – P. 470.
24. Schubert, F. and Koehler, B. (2001). Three-dimensional time domain modeling of ultrasonic wave propagation in concrete in explicit consideration of aggregates and porosity // Journal of computational acoustics, 9. – P. 1543-1560.
25. Carino, N.J. (2001). The impact-echo method: an overview: Proceedings of the 2001 Structures Congress and Exposition, May, 2001. – P. 21-23.
26. Piotr Nowotarski et al 2017, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.245 032098. doi:10.1088/1757-899X/245/3/032098
27. Celaya, Manuel, Parisa Shokouhi, and Soheil Nazarian. «Assessment of debonding in concrete slabs using seismic methods». Transportation Research Record // Journal of the Transportation Research Board 2016. – No. 1 (2007). – P. 65-75.
28. Khazanovich, L., Velasquez, R. & Nesvijski, E.G. 2005. Evaluation of top-down cracks in asphalt pavements by using a self-calibrating ultrasonic technique. Transportation Research Record // Journal of the Transportation Research Board, 1940. – 63-68.
29. Леонович И.И. Диагностика автомобильных дорог: учеб. пособие / И.И. Леонович, С.В. Богданович, И.В. Нестерович. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА М, 2011. – 350 с. [4] л. ил.:ил. – (Высшее образование).
30. Popovics, John S., and Kolluru V.L. Subramaniam. «Review of Ultrasonic Wave Reflection Applied to Early-Age Concrete and Cementitious Materials» // Journal of Nondestructive Evaluation (2014). – P. 1-12.

Получено 10.04.2020

---

MFTAA 29.19.16

**Р.Е. Сакенова<sup>1</sup>, Н.К. Ердыбаева<sup>1</sup>, Б.П. Гриценко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Томск политехникалық университеті, Томск қ., Ресей

#### **ZrN/CrN/ZrCr/ZrN/CrN КӨПҚАБАТТЫ КОМПОЗИТТІК ЖАБЫНДЫ ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ**

*Көп қабатты CrN/ZrN ауыспалы металл нитридті қабықшалары мен Cr/Zr таза металдардан тұратын наноқұрылымды қабықтардың құрылуының негізгі принциптері мен қасиеттері зерттелді. 8 металдан және 40 нитридті қосқабаттардан тұратын арнайы жабын құрастырылды. Нитридті қосқабаттың қалыңдығы 25 нм құрады. CrN, Cr<sub>2</sub>N, ZrN, Cr, Zr және ZrCr<sub>2</sub> алты фаза анықталды. Наноқаттылық пен Юнг модулінің мәндері (CrN/ZrN)/(Cr/Zr) жабындары үшін тиісінше 34 ГПа және 330 гПа жетті.*

*Изучены основные принципы и свойства формирования наноструктурированных пленок, состоящих из многослойных пленок нитрида переходного металла CrN/ZrN и чистых металлов Cr/Zr. Было собрано специальное покрытие из 8 металлов и 40 нитридных бислоев. Толщина нитридного бислоя составляла 25 нм. Было идентифицировано шесть фаз CrN, Cr<sub>2</sub>N, ZrN, Cr, Zr*



и  $ZrCr_2$ . Значения нанотвердости и модуля Юнга для покрытий  $(CrN / ZrN) / (Cr / Zr)$  достигли 34 ГПа и 330 ГПа соответственно.

*The basic principles and properties of the formation of nanostructured films consisting of multilayer films of transition metal nitride  $CrN / ZrN$  and pure metals  $Cr / Zr$  are studied. A special coating of 8 metals and 40 nitride bilayers was collected. The thickness of the nitride bilayer was 25 nm. Six phases of  $CrN$ ,  $Cr_2N$ ,  $ZrN$ ,  $Cr$ ,  $Zr$  and  $ZrCr_2$  have been identified. The values of nanohardness and Young's modulus for coatings  $(CrN / ZrN) / (Cr / Zr)$  reached 34 GPa and 330 hPa, respectively.*

**Түйін сөз:** Көп қабатты жабындар, катодты доға, микроқұрылым, екі фазалы күй, вакуумдық-доға әдісі, микроқаттылық, тозуға төзімділік.

*Кіріспе.* Бұл жұмыс  $ZrN/CrN/ZrCr/ZrN/CrN$  элементтері негізіндегі жүйенің құрылымдық-фазалық, элементтік құрамын, сондай-ақ қатты және аса қатты микро- және наноқұрылымды жабындардың физикалық-механикалық және трибологиялық қасиеттерін эксперименталдық зерттеулерге арналған. Осы бөлімде зерттеу объектілері қарастырылады, сонымен қатар, жабындарды алу принциптері, дайындау әдістері, жабындардың физикалық-механикалық және трибологиялық қасиеттерін анықтау мен сынау құралдары егжей-тегжейлі баяндалған.

Сондай-ақ, жүргізілген жұмыстардың талдау нәтижелерінен, бұл жұмыс бағытының қазіргі кезде де өте өзекті екендігі байқалады. Сондықтан бұл жұмыста наноқұрылымды көп қабатты жабындардың микроқұрылымын, физикалық-механикалық қасиеттерін зерттеу жолдарын ашып көрсету керектігін алдыға міндет етіп қойдық. Бұрын жаңа материалдарды құрастырудың жаңа технологиялары мен принциптерін әзірлеу бір-үш элементті қолдануға негізделген болатын. Алайда, мұндай қосылыстар жабындарға қойылатын негізгі талаптарды әрдайым қанағаттандыра алмады. Материалтану ғылымының одан әрі дамуы бинарлық нитридтермен салыстырғанда функционалды қасиеттерінің едәуір өсуімен ерекшеленетін 3 және 4 нитридті жүйелердің пайда болуына әкелді. Соңғы уақытта физикалық-химиялық қасиеттері жан-жақты қарастырылған, ауыспалы химиялық құрамы бар көп компонентті (көп элементті) қорытпалар кеңінен қолданыла бастады [1].

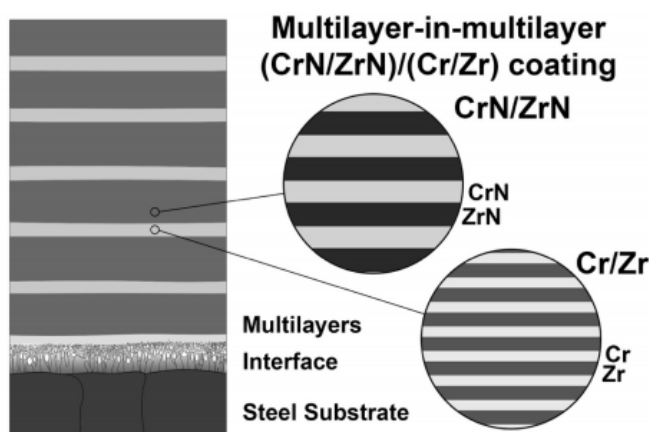
$CrN$  және  $ZrN$  екілік нитрид және таза металдар түрінде олардың көрнекті қасиеттерінің арқасында  $(Me_1/Me_2)/(Me_1/Me_2)$  құрылымын зерттеу үшін тандап алынды.  $CrN$  және  $ZrN$  жоғары қаттылық пен трибологиялық қасиеттерге ие екендігі белгілі. Олар тозудың тамаша қасиеттерін және коррозияға төзімділігін  $TiN$  қарағанда жақсы көрсете алады [2].

Бұл жұмыста біз екі деңгейлі металдармен жабдықталған көп қабатты жабындарға арналған кез келген PVD құрылғысын қолдана отырып, оңай қолдануға болатын  $(CrN/ZrN)/(Cr/Zr)$  жабындары үшін «үштік сэндвич» көп қабатты құрылысын қарастыруды ұсындық.

*Материал және зерттеу әдістері.* Жабындарды алу вакуумдық камерадан, басқару тірегінен, жоғары вольтты түзеткіштен және доғалы булағыштарды қоректендірудің үш көзінен тұратын «Булат-6» қондырғысында вакуумдық-доғалы булаумен (немесе Arc-PVD) жүзеге асырылды.

«Булат-6» құрылғысы вакуумдық камера – бұл ішкі диаметрі 500 мм және ұзындығы 500 мм болатын цилиндрлік ыдыстан тұрады. Камераның осі көлденең орналасқан. Камераның екі ұшында ортасында қақпақтар орналасқан, олардың үстіне вакуум-доға буландырғыштары бекітілген. Камераның жоғарғы жағында буландырғыш орнатылған құбыры бар. Айналмалы құрылғы вакуумдық камерадан электрлік оқшауланған және 3 кВ жоғары кернеулерге төтеп бере алады. Оның механизмі 8 айн/мин айналу жылдамдығын қамтамасыз етеді. Камера бу-май және механикалық вакуумдық сорғылары бар сору агрегатымен жабдықталған. Әдетте Arc-PVD процестеріне тән, тамшылардың қабыққа енуіне жол бермеу үшін құрылғы арнайы сүзу жүйесімен жабдықталған [3].

Жұмыста қолданылған төсеніш  $12X18H9T$ . Мөлшері  $15 \times 15$  мм<sup>2</sup> және қалыңдығы 2 мм болатын,  $12X18H9T$  тот баспайтын болаттан жасалған төсенішке жабындар орналастырылған. Тұндыру процесі алдында төсеніштің беткі қабаты 15 минут ішінде теріс потенциалды – 1,3 кВ қолдана отырып, ионды металл атқылауы арқылы тазартылып, белсендірілді. Тұндыру камерасындағы азот қысымын және үлгіні ұстағыштың айналуын бақылау үшін қолданылатын режим 1-суретте схемалық түрде көрсетілген [4].



1-сурет –  $(CrN/ZrN)/(Cr/Zr)$  көп қабатты құрылымды жабынның көлденең қимасының сызбасы [5]

Көп қабатты жабындардың морфологиясы мен микроқұрылымы, сондай-ақ олардың элементарлық құрамы 20 кВ-да жұмыс істейтін көп функциялы сканерлеуші электронды микроскоппен (SEM) және энергия дисперсиялық рентгендік спектроскопияны (EDS) қолдана отырып зерттелді. Эксперименттер барысында жабындардың беткі және көлденең қималары зерттелді. Үлгілердің қимасын тегістеу және жылтырату арқылы дайындалды. Кері шашыраудың Резерфорд спектроскопиясы (RBS) элементтер тереңдігінің профилін талдау үшін қолданылды.

Фазалық құрамы және құрылымдық талдау Брэгга-Брентано геометриясында HyPix-400 2D детекторы бар  $\text{Cu-K}\alpha$ -сәулеленумен рентген дифрактометрінде жүргізілді. Дифракция бұрышы 20-дан  $120^\circ$  дейінгі диапазонда, ал сканерлеу жылдамдығы  $0,5^\circ/\text{мин}$  болды. Рентгендік дифрактометр SmartLab RIGAKU құрылғысы 2-суретте көрсетілген.

Жарық түсіретін электрондық микроскоп (TEM) көмегімен талдау 200 кВ жұмыс істейтін JEOL JSM-F 200 S/TM пайдаланып жүргізілді.

ПЭМ үшін үлгілер кесінділердің қалыңдығы 100 мкм аспайынша қарапайым көлденең қиманы және механикалық жылтыратуды пайдалана отырып дайындалды.

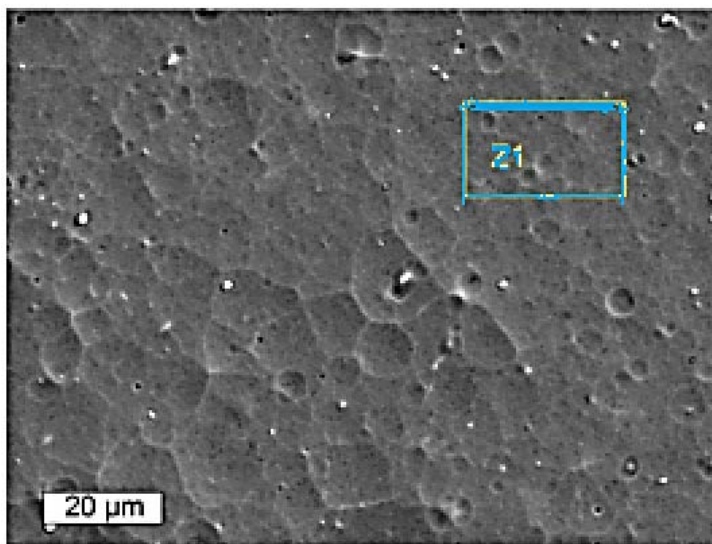
Қаттылықты өлшеу HNV-G сериялы Виккерстің қаттылығын тексеретін құрал көмегімен жүргізілді. Жүктемелер 980,7, 4,903, 9,807 және 19,61 Н қолданылды. Әр үлгі үшін кем дегенде 10 өлшеу жүргізілді.



2-сурет – Рентгендік дифрактометр SmartLab RIGAKU [6]

*Алынған нәтижелер және оларды талдау.*

(CrN/ZrN)/(Cr/Zr) үлгілерінің беткі морфологиясы 3-суретте көрсетілген. Бетіндегі бағаналы дөңдердің орташа мөлшері шамамен 1,5-2 мкм құрайды. 3-суретте көрінетін ақ бөлшектер – бұл вакуумдық камерада немесе сынамааны зерттеу кезінде пайда болатын шаңнан болатын бөлшектер. Тұндыру қондырғысына орнатылған арнайы сүзу жүйесіне қарамастан, үстіңгі және көлденең SEM-микросуреттерден бірнеше аздаған тамшылардың қосындыларын көруге болады [7].



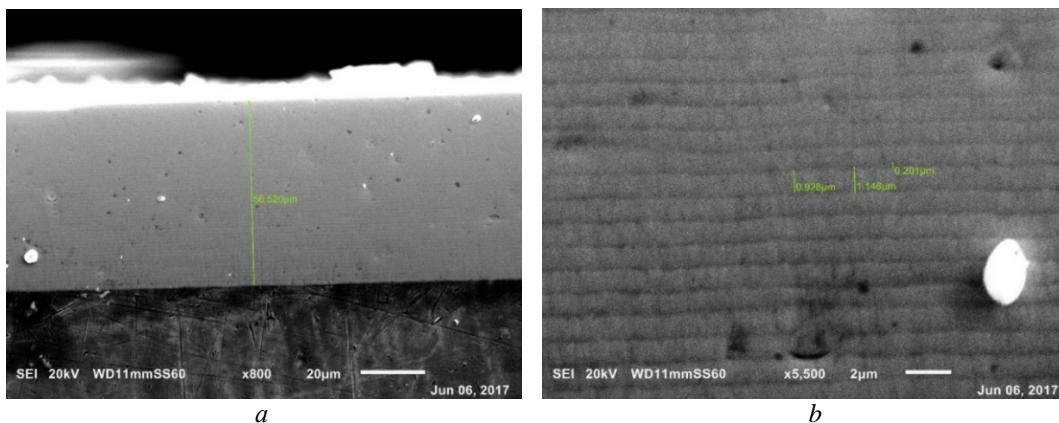
3-сурет – (CrN/ZrN)/(Cr/Zr) үлгілерінің беткі морфологиясы [7]

Өкінішке орай, EDS әдісі металдардың шоғырлануын тез және дәл бағалау үшін қолайлы болса да, азот сияқты жеңіл элементтерге сезімтал емес және оның концентрациясы жеткілікті анықтай алмауы мүмкін. Сондықтан зерттелген жабындардағы металдардың тек қана процентілін ескерген дұрысырақ.

Жергілікті таңдалған аймақтың химиялық құрамы бойынша (3-сурет), Cr/Zr қатынасы 0,59 болды. Деректерді жинақтау үлгілердің беткі қабатында жүргізілгенімен, нәтижелер барлық жабындардың тереңдігі үшін жарамды, өйткені жеке қабаттың қалыңдығы өте жұқа (15 нм дейін), ал үлгінің өзара әрекеттесуі кезіндегі көлемі көп қабатты құрылым үшін интегралды спектр береді. Алынған мәліметтерден Zr негізіндегі қабаттардың Cr және CrN қабаттарымен салыстырғанда қалыңдығы жоғарырақ екендігі көрінеді.

Көлденең қиманың көп қабатты құрылымы және тереңдік профилі бойынша элементтік құрам SEM және RBS әдістерімен зерттелді. 4, а-сурет жабындардың толық қалыңдығы (CrN/ZrN)/(Cr/Zr) көрсетілген. Жабындардың жалпы қалыңдығы шамамен 59 мкм құрады. Үлгілер нақты бөліну шекаралары және жеке қабаттардың жақсы жоспарлануымен айқындалған көп қабатты құрылымды көрсетеді. Үлкенірек үлкейту кезіндегі үлгілердің егжей-тегжейлі көрінісі 4, b-суретте көрсетілген. Көп қабатты құрылым жақсы көрінеді, бірақ кеңістіктік шексіздігі және жекелеген қабаттардың қалыңдығының төмендігінен тек CrN/ZrN құрама нитридті қабаттар мен Cr/Zr металл қабаттары ғана ерекшеленуі мүмкін.

Көп қабатты (CrN/ZrN)/(Cr/Zr) пленкалар үшін  $\theta/2\theta$  геометриясында орындалған XRD талдау нәтижелері жасалды. Таңдамалы  $2\theta$  аймақ көрсетілген, өйткені жоғары жағынан қарқындылық  $30^\circ$  және  $90^\circ$   $2\theta$  байқалмады. Үлгілердің күрделі құрылымына байланысты әртүрлі фазаларға арналған көптеген дифракциялық жазықтықтар XRD үлгісінде болады. Кейбір шындықтардың қабаттасуы да орын алады. Алты фаза анықталды: CrN, Cr<sub>2</sub>N, ZrN, Cr, Zr және ZrCr<sub>2</sub>.



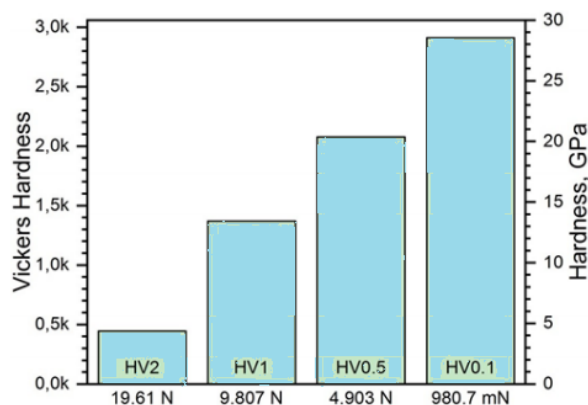
a

b

4-сурет –  $(\text{CrN/ZrN})/(\text{Cr/Zr})$  жабындарының көлденең қимасы үшін SEM талдау нәтижелері

Өртүрлі сынақ күштері үшін Виккерс бойынша қаттылықты өлшеудің орташаланған нәтижелері, сондай-ақ күштік қысымның қисықтары 5-суретте көрсетілген. 5-суреттен келіп түскен жүктеменің ұлғаюымен, демек, жабынға ену тереңдігі қаттылық мәндерінің төмендеуін көрсетеді, бұл жұқа үлгілерге тән және төсеніштің немесе төмен қабаттардың әсерінен проблема болуы мүмкін. Осылайша, наноқаттылық пен Юнг модулінің мәндері  $(\text{CrN/ZrN})/(\text{Cr/Zr})$  жабындары үшін тиісінше 34 ГПа және 330 гПа жетеді.

$(\text{CrN/ZrN})/(\text{Cr/Zr})$  жабындарының қаттылығының жоғарылауы негізінен ұсақ түйіршіктердің мөлшері мен тор параметрлерінің айырмашылығына байланысты. Ұсақ түйіршіктер дислокацияның қозғалғыштығын тежейді. Бір қабатты дислокация шекарадан өтуге мәжбүр ететін жеткілікті қуат болмаса, бөліну шекарасына ене алмайтындығы көрсетілген.



5-сурет –  $\text{CrN/ZrN}/(\text{Cr/Zr})$  жабындысының қаттылығын өлшеу нәтижелері

#### Қорытынды

Бұл жұмыста қалың нитридті және жұқа металл қабаттары бар көп құрылымды нанокұрылымды  $(\text{CrN/ZrN})/(\text{Cr/Zr})$  жабындар зерттелді. Беткі және көлденең қималарын зерттеуде жазықтық қабаттармен және Cr, Zr, CrN мен ZrN қабықшалары арасындағы бөлім шекаралары жоғарғы деңгейде, сапалы түрде жабындардың орналасқандығын айқын көрсетті. Микро және нанокұрылымды талдаулар ауыспалы металдардың кубтық фазалары бар поликристалды қабықшалардың және олардың нитридтерінің болатынын көрсетті. Рентгендік талдауда CrN, Cr<sub>2</sub>N, ZrN, Cr, Zr және ZrCr<sub>2</sub> алты фазаның пайда болғаны анықталды. Наноқаттылық пен Юнг модулінің мәндері  $(\text{CrN/ZrN})/(\text{Cr/Zr})$  жабындары үшін тиісінше 34 ГПа және 330 гПа жетті.

CrN/ZrN гетероқұрылысының алғашқы принциптері бөліну шекарасындағы байланыстар әр қабаттың ішіндегі байланыстарға қарағанда мықты екенін көрсетті. Жоғарғы нәтижелерді ескере отырып, күрделі жағдайларда жұмыс істейтін аспаптардың тұрақты және тиімді қызмет көрсетуін қамтамасыз ету үшін бұл жабынның тигізетін әсері зор.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Maksakova O., Simoës S., Pogrebnjak A., Bondar O., Kravchenko Y., Beresnev V., Erdybaeva N. The influence of deposition conditions and bilayer thickness on physicalmechanical properties of CA-PVD multilayer ZrN/CrN coatings // Mater. Charact. – 2018. – №140. – P. 189-196. doi: 10.1016/j.matchar.2018.03.048.
2. Pogrebnjak A.D., Ivasishin O.M., Beresnev V.M., Arc-Evaporated Nanoscale Multilayer Nitride-Based Coatings for Protection Against Wear, Corrosion, and Oxidation, Usp. Fiz. Met. 17 (2016) 1–28. doi:10.15407/ufm.17.01.001.
3. Pogrebnjak A.D., Bagdasaryan A.A., Pshyk A., Dyadyura K. Adaptive multicomponent nanocomposite coatings in surface engineering // Phys.-Usp. – 2017. – №6. – P.586–607. doi:10.3367/UFNe.2016.12.038018.
4. Zunger A., Wei S.-H., Ferreira L.G., Bernard J.E.. Special quasirandom structures, Phys. Rev. Lett. 65 (1990) 353–356. doi:10.1103/PhysRevLett.65.353.
5. Sakenova R.E., Erdybaeva N.K., Pogrebnjak A.D., Kylyshkanov M.K. The study of multilayer coatings based on MoN(MoZr)ZrN and (TiMo)N/(TiMo), (CrZr)N/(CrZr) obtained by the method of vacuum-arc deposition Bulletin o the // Karaganda university PHYSICS Series. – 2019. – №2 (94). – P. 14-21.
6. X.M. Xu, J. Wang, J. An, Y. Zhao, Q.Y. Zhang, Effect of modulation structure on the growth behavior and mechanical properties of TiN/ZrN multilayers, Surf. Coat. Technol. 201 (2007) 5582–5586. doi:10.1016/j.surfcoat.2006.07.132.
7. Pogrebnjak A.D., Bagdasaryan A.A., Beresnev V.M., Nyemchenko U.S., Ivashchenko V.I., Kravchenko Y.O., Shaimardanov ZH.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. 43 (2017) 771–782. doi:10.1016/j.ceramint.2016.10.008.
8. Sakenova R., Alexander P., Oleksandr B., Pawel Z., Yoshihiko T., Yerdibayeva N. Structure and properties of combined multilayer coatings based on alternative triple nitride and binary metallic layers // MATERIALS of the International scientific-technical conference in honor of the 60th anniversary of the D. Serikbayev EKSTU, «The role of universities in creating an innovative economy». – Ust-Kamenogorsk, 2018.

Қабылданды 10.04.2020

---

МРНТИ 31.19.15

**Б.С. Саурбаева<sup>1</sup>, Р.А. Аубакирова<sup>2</sup>, Е.Н. Ивашенко<sup>1</sup>, Б.К. Шаихова<sup>2</sup>, И.В. Афанасенкова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

<sup>2</sup>Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск

#### МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И АНАЛИЗ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ УК МК ТОО «КАЗЦИНК» СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

*Приведены результаты анализа свинца, меди и цинка в пробе «Шлак отвальный» на спектрофотометрическом приборе – атомно-абсорбционном спектрометре. Метод успешно применяется для анализа как легкорастворимых металлов и сплавов, так и для объектов, которые достаточно трудно перевести в раствор: шлаки, разнообразные современные керамики, горные породы, минералы и др. Данные анализа рассчитаны с позиций концепции неопределенности.*

*Спектрофотометриялық аспап – атомдық-абсорбциялық спектрометрде «үйінді Шлак» сынамасында қорғасын, мыс және мырыш талдауының нәтижелері келтірілген. Әдіс тез ерітін металдар мен қорытпаларды талдау үшін, сондай-ақ ерітіндіге ауыстыру өте қиын объектілер үшін де табысты қолданылады: шлактар, түрлі заманауи керамика, тау жыныстары, минералдар және т. б. талдау деректері белгісіздік тұжырымдамасы тұрағысынан есептелген.*

*The results of the analysis of lead, copper and zinc in the sample «slag dump» on a spectrophotometric device – an atomic absorption spectrometer. The method is successfully used for the analysis of easily soluble metals and alloys, as well as for objects that are quite difficult to translate into solution: slags, various modern ceramics, rocks, minerals, etc. the analysis Data is calculated from the standpoint of the concept of uncertainty.*

**Ключевые слова:** метод атомно-абсорбционной спектроскопии, градуировочный график, неопределенность.

*Введение.* В современном мире нет ни одной отрасли промышленного производства, не связанной с применением химии. УК МК ТОО «Казцинк» в этом плане не является исключением. В состав каждого комплекса компании входит аналитическая служба. Весь процесс от добычи руды до получения товарного металла (или другого товарного объекта) строится на результатах химического анализа. Ежечасно потребителю направляются информационные потоки, содержащие данные количественного химического анализа. Успех любой технологической работы в большей степени определяется теми аналитическими методами, которые используются для контроля содержания элементов в готовой продукции.

Невозможно представить современное производство и науку без методов анализа, позволяющих быстро и точно установить состав вещества. В последние годы требования к методам анализа возросли. Высокая производительность труда на производстве требует быстрых и точных методов контроля сырья, полупродуктов и готовой продукции.

Далеко не всегда химические методы анализа отвечают всем современным требованиям. Поэтому все большее значение приобретают физико-химические и физические методы анализа. За последнее время все большее распространение получают так называемые инструментальные методы анализа, т.е. методы, позволяющие определять концентрацию вещества непосредственно по отсчету на шкале какого-либо прибора. Именно к таким и относятся методы атомно-абсорбционной и атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой.

До последнего времени в аналитической химии на производстве большое внимание уделялось только сходимости и воспроизводимости результатов, полученных по определенной методике, а не их прослеживаемости к определенному эталону или единице СИ. Однако теперь, в связи с необходимостью установления большего доверия к результатам, важно, чтобы результат измерения обладал прослеживаемостью к определенному эталону, такому как эталон единицы СИ, стандартный образец или, там где это допустимо, к эмпирическому методу анализа [1].

Ввиду этих требований химии-аналитики, со своей стороны, должны демонстрировать качество своих результатов, т.е. подтверждать их пригодность для достижения конкретной цели путем указания некой меры доверия, которую можно указать вместе с результатом. Предполагается, что она включает степень, до которой результат анализа будет совпадать с другими результатами, обычно независимо от метода анализа. Одной из полезных мер такого доверия является неопределенность измерений.

Химические анализы в каждой лаборатории проводятся по определенным методикам и Государственным стандартам. В данной работе описывается проведение физико-химического анализа пробы – шлака отвалного с медного завода на содержание свинца, меди и цинка. Весь процесс работы будет проведен в соответствии с методикой и ГОСТом, единственным отличием будет введение и расчет такой характеристики, как неопределенность, в свою очередь, заменяющая погрешность.

Неопределенность измерения есть «параметр, связанный с результатом измерения и характеризующий разброс значений, которые с достаточным основанием могут быть приписаны измеряемой величине».

Некоторые важные области, в которых необходимы химические измерения и в которых целесообразно применение данного параметра, таковы:



- контроль качества и обеспечение качества продукции в промышленности;
- испытания на соответствие нормативным требованиям;
- испытания, использующие стандартный метод;
- поверка эталонов и оборудования;
- измерения, связанные с разработкой и аттестацией стандартных образцов;
- исследования и разработки.

Важно различать погрешность и неопределенность. Погрешность определяется как разность между отдельным результатом и истинным значением измеряемой величины. Таким образом, погрешность имеет единственное значение. Неопределенность, с другой стороны, принимает форму интервала значений и, если она оценивается для какой-либо аналитической методики и заданного типа анализируемых проб, может относиться ко всем описанным таким образом определениям. Неопределенность результата измерения никогда не следует интерпретировать как саму погрешность, а также как погрешность, остающуюся после внесения поправки.

Методы атомной спектроскопии проводят с использованием растворов проб, т.е. порошковую пробу обязательно необходимо перевести в растворенное состояние [2].

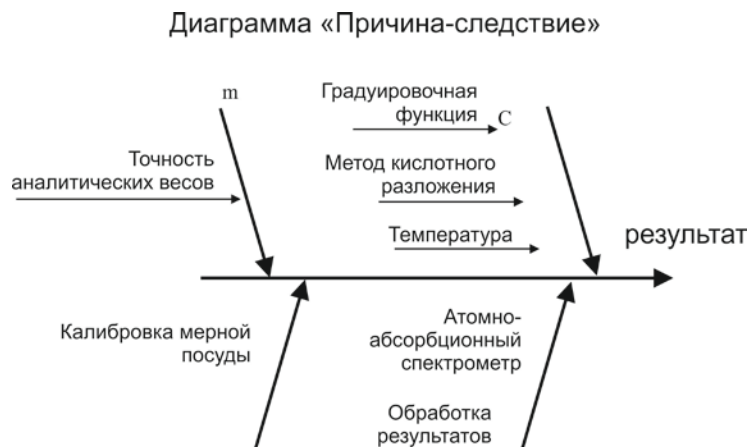
Выбор способа перевода дисперсной пробы в раствор определяется характером пробы и типом выполняемой аналитической задачи. Как правило, это обычное кислотное разложение на нагревательных печах или с применением лабораторной микроволновой печи. На результат исследования могут оказать влияние такие характеристики, как перегрев пробы, при котором свинец может выпасть в осадок, не до конца разложившаяся проба. Также можно отнести к источникам неопределенности не совсем точный перевод раствора пробы в мерную колбу, фильтрация, разбавление [3].

Вычислительные эффекты. Обработку результатов измерений выполняют расчетным способом. Вычисляют массовую концентрацию элемента, а затем массовую долю элемента в определяемом образце продукта.

Отбрасывание цифр и округление может приводить к неточности конечного результата. Поскольку эти ситуации трудно предсказать заранее, может быть оправдан допуск на некоторую неопределенность [4].

Случайные эффекты вносят вклад в неопределенность при всех определениях. Этот пункт следует включать в перечень источников неопределенности как нечто само собой разумеющееся.

Все перечисленные источники неопределенности представлены в виде диаграммы «Причина-следствие» [1].



*Экспериментальная часть.* Количественное определение свинца, меди и цинка в пробе «Шлак отвалный» проводится на спектрофотометрическом приборе – атомно-абсорбционном спектрометре [5].

Атомно-абсорбционный спектрометр готовят к работе и проводят измерения на нем в соответствии с эксплуатационной документацией СИ и порядком работы на данном спектрометре.



*Обработка (вычисление) результатов измерений.* Обработку результатов измерений выполняют расчетным способом.

Массовые доли определяемых элементов  $X$ , %, рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{(C - C_1) \cdot V \cdot 100}{M \cdot 1000 \cdot 1000},$$

где  $C$  – массовая доля определяемого элемента в анализируемом растворе, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_1$  – массовая доля определяемого элемента в растворе контрольного опыта, мг/дм<sup>3</sup>;  $V$  – объем мерной колбы, см<sup>3</sup>;  $M$  – масса навески пробы, г.

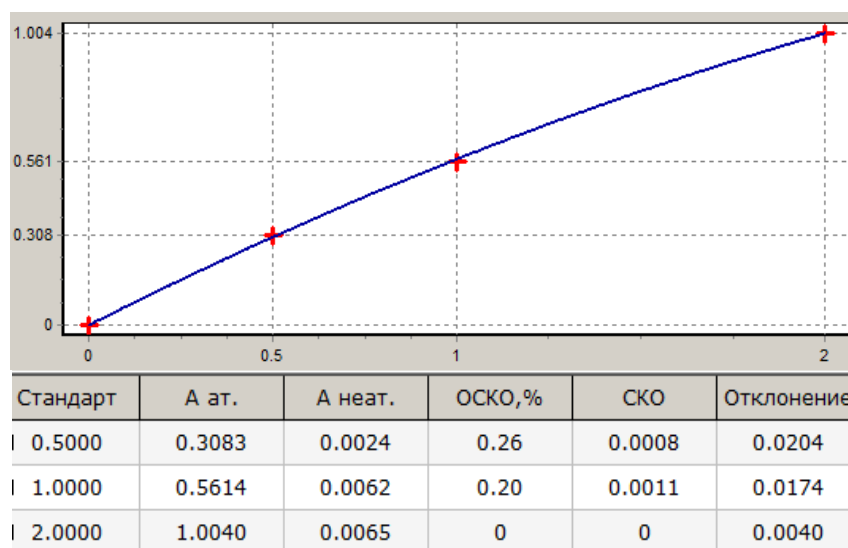
За результат анализа принимают среднее арифметическое результатов трех параллельных определений, при этом расхождение результатов этих определений не должно превышать значения  $t_2$  (предела повторяемости).

Результат анализа вычисляют до пяти десятичных знаков после запятой и округляют до четырех знаков при содержании от 0,0010 % до 0,0100 % включительно; вычисляют до четырех знаков и округляют до трех знаков при содержании свыше 0,010 % до 0,100 % включительно; вычисляют до трех знаков и округляют до двух знаков при содержании свыше 0,10 % до 50,00 %, включительно.

Таблица 1

*Данные анализа метода атомно-абсорбционной спектроскопии*

№	Определяемый элемент	Абсорбция	Концентрация определяемого элемента	$X_{\text{среднее}}$
11	Pb	0,01254	1,041	1,04
		0,01223	1,030	
		0,01306	1,050	
22	Zn	0,11053	0,960	0,97
		0,11058	0,978	
		0,11008	0,971	
33	Cu	0,35201	3,120	3,127
		0,35603	3,143	
		0,35188	3,118	



*Рисунок 1 – Градуировочный график Zn в атомно-абсорбционной спектроскопии*

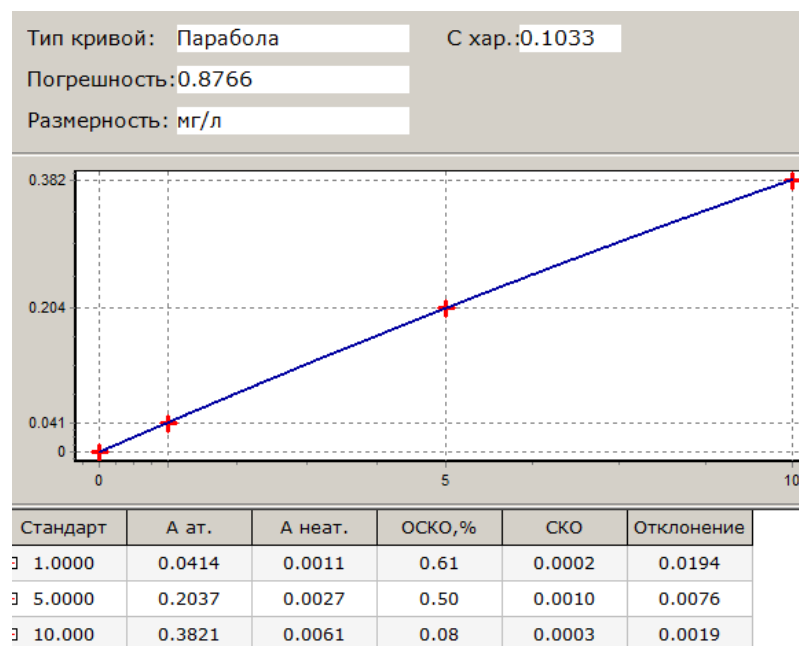


Рисунок 2 – Градуировочный график Pb в атомно-абсорбционной спектроскопии

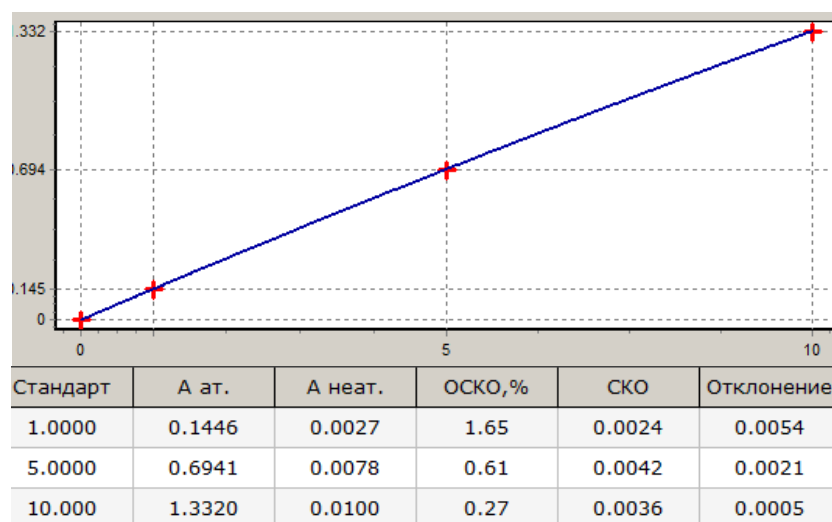


Рисунок 3 – Градуировочный график Cu в атомно-абсорбционной спектроскопии

Таблица 2

Рассчитанная неопределенность метода атомно-абсорбционной спектроскопии

Определяемый элемент	Среднее значение $X_{\text{ср}}$	Стандартная неопределенность $U(X)$	Суммарная стандартная неопределенность $U_c(X)$	Расширенная неопределенность
Pb	1,04	0,01732	0,01844	1,04±0,01759
Zn	0,97	0,00894	0,00924	0,97±0,00815
Cu	3,127	0,01924	0,01949	3,127±0,01859

*Обсуждение результатов.* Как видно из всего содержания работы и проведенной практической части использовать понятие неопределенности в практической деятельности лабораторий технически не сложно. Правда, как это всегда бывает при введении новых понятий, переход к использованию неопределенности и связанным с ней величинам требует привыкания [6].

Для удовлетворения требованиям нормативных документов часто требуется доказать, что измеряемая величина, например концентрация токсичного вещества, лежит в заданных пределах. Ясно, что в этом контексте неопределенность измерений влияет на интерпретацию аналитических результатов. В частности, при оценке соответствия придется принимать во внимание неопределенность результата анализа; возможно, что пределы уже были установлены с учетом неопределенности.

Для многих лабораторий использование понятия «неопределенность» постепенно становится фактически обязательным. Это справедливо, прежде всего, для аккредитованных лабораторий. В настоящее время практически все казахстанские системы аккредитации основываются на требованиях ГОСТ РК ИСО/МЭК 17025, в котором установлено, что «испытательные лаборатории должны иметь и применять процедуры оценки неопределенности измерений». О том же говорят документы ряда международных организаций: International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC), EURACHEM, Co-Operation on International Traceability in Analytical Chemistry (CITAC) и т.д. Из понятия, которым ранее оперировал узкий круг метрологов, «неопределенность» превратилась в понятие, неотъемлемое от результата любого измерения [1].

Гармонизация отечественных и международных требований к качеству результатов измерений – необходимый этап на пути интегрирования нашей страны в мировой рынок. Очевидно, что все большее число отечественных нормативных документов будет основываться на соответствующих международных стандартах и руководствах.

Другими словами, фактически речь идет о том, чтобы говорить на одном языке с остальным миром.

*Выводы.* Проведен анализ продукта металлургического производства - шлака отвалного - атомно-абсорбционным методом:

1. Построены градуировочные графики определения свинца, цинка и меди на основании экспериментальных данных.

2. Рассчитаны стандартная, суммарная и расширенная неопределенность. Параллельные значения концентраций лежат в вычисленном диапазоне значений неопределенности, что свидетельствует о правильности применяемой методики.

#### Список литературы

1. Руководство ЕВРАХИМ/СИТАК «Количественное описание неопределенности в аналитических измерениях», второе издание. Пер. с англ. Р.Л. Кадиса, Г.Р. Нежиховского, В.Б. Симины под ред. Л.А. Конопелько. – Санкт-Петербург, 2002.
2. Нефтепродукты. Масла. Смазки. Нефтепродукты промышленного и бытового потребления. Методы испытаний: Сборник. – Издательство стандартов, 2007.
3. Копия отчета о НИР «Разработка плазменно-спектральных методов многоэлементного анализа растворов цинкового и медного производства». – Всесоюзный научно-информационный центр, 1984.
4. Рекомендации по метрологии Р 50.2.028-2003. Алгоритмы построения градуировочных характеристик средств измерений состава веществ и материалов и оценивание их погрешностей (неопределенностей). – ИПК Издательство стандартов, 2003.
5. Ермаченко Л.А. Атомно-абсорбционный анализ в санитарно-гигиенических условиях: Методическое пособие / Л.А. Ермаченко. – М.: Чувашия, 1997.
6. ГОСТ Р ИСО 5725-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. – В 6 частях. – ИПК Издательство стандартов, 2002.

Получено 10.04.2020

МРНТИ 67.11

**А.В. Хапин, Б.Е. Махиев**Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск**ЛАБОРАТОРИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ: ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

*Изложены основные направления исследований, проводившихся в лаборатории надежности и долговечности строительных конструкций и перспективные направления ее работы. Приводятся примеры объектов, которые проектировали или проводили оценку их технического состояния.*

*Құрылыс конструкцияларының сенімділігі мен ұзақ мерзімділігі зертханасында жүргізілген зерттеулердің негізгі бағыттары баяндалған. Жобаланған немесе техникалық жай-күй бағалауын жүргізген объектілердің мысалдары келтіріледі. Жұмыстың перспективалық бағыттары баяндалды.*

*The main directions of research carried out in the laboratory of reliability and durability of building structures are described. Examples of objects that designed or evaluated their technical condition are given. Perspective directions of work are stated.*

**Ключевые слова:** обследование, техническое состояние зданий и сооружений, реконструкция, сейсмоусиление, проектирование, восстановление.

25 мая 2020 года лаборатории надёжности и долговечности строительных конструкций (НАДОСК) Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева исполняется 30 лет. Она была основана в далёком 1990 году. Это были трудные перестроечные годы, когда промышленные предприятия закрывались, люди не получали зарплату, градообразующие заводы сокращали производство. Приходили новые собственники, появились инвестиции, производство нуждалось в обновлении и реконструкции.

В этот период по инициативе члена-корреспондента международной академии Высшей школы Республики Казахстан профессора Кусябғалиева С.Г. была создана лаборатория, основным назначением которой явилась оценка технического состояния строительных конструкций, разработка методов усиления и реконструкции. Наши разработки нашли широкий спрос и оказались актуальными в те трудные времена, когда необходимо было вывести производство из кризиса.

Приток иностранных инвестиций в горно-металлургическую промышленность был связан с освоением новых месторождений руды. В конце девяностых годов прошлого века началось освоение Малеевского рудника. Потерявшие работу сотрудники Зыряновского горно-обогатительного комбината обрели надежду на восстановление предприятия. Для наращивания мощностей обогатительной фабрики потребовалось расширение складского хозяйства, увеличение объёмов сгустителей. Необходимо было провести оценку технического состояния и разработать проекты усиления существующих металлоконструкций зданий и сооружений. Сотрудники лаборатории в кратчайший период справились с этой работой.

Внедрение новых технологий металлургических процессов потребовало масштабной реконструкции и переоборудования производственных зданий. В Усть-Каменогорске на бывшем свинцово-цинковом комбинате (ныне «Казцинк») внедрялся проект «Новая металлургия», что потребовало обследования и усиления строительных конструкций целого комплекса зданий и сооружений. Эта важная для города и отрасли работа была поручена нашей лаборатории.

Лабораторией проводились обследования дымовых и вентиляционных труб, включая оценку их сейсмобезопасности [1]. Для выполнения этой работы была создана методика обследования, которую в настоящее время используют другие организации.

После Зайсанского землетрясения и изменения карты сейсмического зонирования Казахстана возрастание сейсмической угрозы поставило перед лабораторией новые задачи. Все последующие годы сотрудники лаборатории занимались проблемой сейсмоусиления зданий и оценки их сейсмобезопасности.

Одной из важных страниц в деятельности коллектива было устранение последствий аварий или их предотвращение. Нами разрабатывались проекты восстановления Согринской ТЭЦ после взры-

ва угольной пыли [2], газохода на Усть-Каменогорской ТЭЦ после обрушения, галереи топливоподачи на этой же ТЭЦ после пожара, усиления повреждённой трещиной опоры ЛЭП на Усть-Каменогорской ГЭС, грозящей обрушением.

Лаборатория выполняет много работ для г. Усть-Каменогорска. В 2001 году по рекомендациям наших специалистов проведена масштабная реконструкция дворца спорта, в котором более десяти лет не проводилось ремонта. В последующие годы мы выполняли работы по оценке сейсмобезопасности, усилению стен дворца, разработали проект крепления первого в Казахстане цифрового табло.

Одним из направлений работы лаборатории является обследование оснований и фундаментов зданий и сооружений. В нашем горном районе со сложными грунтовыми условиями это направление имеет особую актуальность. Сотрудниками лаборатории было выполнено обследование и разработаны рекомендации по усилению зданий школ в с. Медведка Шемонаихинского района, в с. Улкен Нарын Катон-Карагайского района, в п. Глубокое, где причиной образования трещин и деформаций полов первого этажа были просадочные явления в грунтах основания. По этой же причине получили повреждения строительные конструкции новой больницы в п. Глубокое, жилых домов в п. Белоусовка и г. Усть-Каменогорске, здания Усть-Каменогорского музея искусств. При выполнении этих работ использовался опыт научных исследований кафедры геотехники Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета, с которой лаборатория поддерживает творческие связи.

Среди объектов обследования лаборатории учреждения здравоохранения. В 2018 году выполнено обследование долгостроя – онкологического корпуса в г. Семее, что позволило вывести строительство из ступора и найти пути его завершения. Следующим объектом был реабилитационный центр г. Усть-Каменогорска, где в результате подтопления подвального этажа создавалась угроза повреждения фундаментов.

В марте 2020 года поступила срочная заявка на обследование хирургического отделения областного фтизиопульмонологического центра в районе Защиты. В начале обследования здание было пустым, а в конце марта в нём находились на карантине приехавшие из Италии, Франции, Египта наши казахстанские туристы.

Лаборатория работает на объектах, обеспечивающих продовольственную безопасность государства. В 2019 году выполнено обследование нескольких объектов Усть-Каменогорского мукомольного комбината, позволившее решить вопросы усиления здания склада муки на повышенные транспортные нагрузки.

Особое место в деятельности лаборатории занимают работы, выполняемые для нашего университета. В 2010 году по нашему проекту выполнена реконструкция технопарка «Алтай», в котором прошла встреча президентов Казахстана и России. Разработаны проекты реконструкции учебных корпусов, включая надстройки мансардных этажей и изменение архитектурно-художественного облика фасадов. По проекту лаборатории построено новое студенческое общежитие.

Специалисты лаборатории сотрудничают с ведущими научно-исследовательскими организациями и центрами повышения квалификации строителей. С 2001 года совместно с Казахским научно-исследовательским институтом строительства и архитектуры в Усть-Каменогорске ежемесячно проводятся занятия по вопросам сейсмоусиления зданий и обеспечения их сейсмобезопасности. На основе многолетнего опыта работы лаборатории для студентов строительных специальностей сформированы две уникальных учебных дисциплины: «Защита строительных конструкций от коррозии» и «Сейсмостойкость зданий и сооружений». В настоящее время в связи с внедрением в строительство новой нормативной базы проводится повышение квалификации проектировщиков по Еврокодам. В рамках реализации государственной программы модельного проектирования зданий с участием специалистов лаборатории в университете открыты новые образовательные программы «BIM-технологии в проектировании» для бакалавров и магистрантов, и создаётся соответствующий центр компетенций [3, 4].

За время работы лаборатории три преподавателя защитили кандидатские диссертации. В настоящее время у нас ежегодно проходят практику студенты и магистранты, для которых всегда находятся актуальные темы дипломных и магистерских работ. При участии студентов строитель-

ной специальности разработана конструкция стелы «Журавли» мемориального комплекса участникам войны и воинам-интернационалистам в п. Касыма Кайсенова. Наши выпускники успешно работают в строительных организациях Казахстана, России и дальнего зарубежья.

Работы по проектированию реконструкции подтверждены обновленной лицензией, полученной в апреле 2020 года, аттестатом на право технического обследования зданий и аттестатом на право оценки промышленной безопасности.

Лаборатория всегда реагировала на требования времени, поэтому ее научная деятельность всегда была и остается актуальной. Мы с оптимизмом смотрим в будущее, потому что наша работа будет востребована.

#### Список литературы

1. Хапин А.В., Махиев Б.Е. Оценка сейсмобезопасности дымовых и вентиляционных труб промышленных предприятий // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. – 2016. – № 1. – С. 70-76.
2. Хапин А.В., Махиев Б.Е. Снижение риска повреждений строительных конструкций ТЭЦ при техногенных и природных воздействиях // Материалы НПК с международным участием. Институт военно-технического образования СПбГПУ. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2014. – С. 36-39.
3. Талапов В.В., Махиев Б.Е., Хапин А.В. Компьютерное проектирование: проблема выбора предмета обучения // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. – 2019. – № 4. – С. 155-157.
4. Талапов В.В., Махиев Б.Е., Хапин А.В. Послесловие к BIM-форуму: кого и кому учить BIM-технологиям проектирования? // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. – 2019. – № 4. – С. 157-160.

Получено 10.04.2020

---

---

## МАЗМҰНЫ

ЖЕР ТУРАЛЫ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ  
ГЕОГРАФИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР

<i>Амралинова Б.Б., Портнов В.С., Копобаева А.Н., Блялова Г.Г., Амангельдықызы А., Асқарова Н.С.</i> Ақшатау кен орны гранитоидтарының петрохимиялық сипаттамасы	3
<i>Бисатова А.Е., Дьячков Б.А., Мизерная М.А., Зимаповская Н.А.</i> Оңтүстік Алтайда (Маралиха кен орны) алтын-жапырақты кенденудің геологиялық құрылымы мен минералогиялық құрамының кейбір ерекшеліктері	10
<i>Битманов Е.Ж., Масенов К.Б.</i> Павлодар қаласының өнеркәсіптік аймақтары маңындағы жер ресурстары жағдайының мониторингі	16
<i>Дрючкова О.А., Мамяченков С.В., Асанов Д.А., Быков Р.А., Кожсаканова М.Б.</i> Мыс-мырыш кендерін байытудың жұқа тегістелген ескі байыту қалдықтарын өңдеу технологиясын әзірлеу	20
<i>Қабдрахманова Н.Қ., Мусабаева М.Н., Женисқбаева Н.Ж., Сабырбаева Б.Т.</i> Жоғарғы Ертіс алабы геожүйелерінің ландшафттық-геохимиялық жағдайына антропогендік факторлардың әсерін кешенді талдау	26
<i>Мамышева А.М., Тогузова М.М., Рахымбердина М.Е., Амралинова Б.Б., Тогузов М.З.</i> Қазіргі заманғы ГАЖ-технологияларды қолдану арқылы Д. Серікбаев атындағы ШҚМТУ аумағының радиоқауіптілігі мониторингін картографиялық қамтамасыз етуді әзірлеу	29
<i>Сексенова Н.К., Быков Р.А., Кожсаканова М.Б., Қантай Н., Мамяченков С.В.</i> Құрамдастырылған схемаларды пайдалана отырып, тау-кен металлургиялық өндіріс қалдықтарын өңдеудің заманауи бағыттары	34
<i>Сплодитель А.О., Сорокина Л.Ю.</i> Украина ландшафттарының техногенді өзгерістеріне геоэкологиялық мониторингтің міндеттері	38
<i>Сураужанов К.О., Тогузов М.З.</i> Титан өндірісінің хлоридті қалдықтарын өңдеудің перспективалық тәсілдері	44
<i>Тарасенко Г.В.</i> Аккулков белесінің геологиялық құрылымы және аймақтың газдылығының келешегі	48
<i>Тымбаева А.А., Куленова Н.А., Мамяченков С.В.</i> Мышьяк өнеркәсіп өнімдерін гидрометаллургиялық өңдеу кезінде натрий сульфатын жинақтау мәселесі	55

## СОДЕРЖАНИЕ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ  
И ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Амралинова Б.Б., Портнов В.С., Копобаева А.Н., Блялова Г.Г., Амангельдықызы А., Асқарова Н.С.</i> Петрохимическая характеристика гранитоидов месторождения Ақшатау	3
<i>Бисатова А.Е., Дьячков Б.А., Мизерная М.А., Зимаповская Н.А.</i> Некоторые особенности геологического строения и минералогического состава золото-лиственитового типа оруденения на Южном Алтае (месторождение Маралиха)	10
<i>Битманов Е.Ж., Масенов К.Б.</i> Мониторинг состояния земельных ресурсов близ промышленных зон города Павлодар	16
<i>Дрючкова О.А., Мамяченков С.В., Асанов Д.А., Быков Р.А., Кожсаканова М.Б.</i> Разработка технологии переработки тонко вкрапленных упорных лежалых хвостов обогащения медно-цинковых руд	20
<i>Қабдрахманова Н.Қ., Мусабаева М.Н., Женисқбаева Н.Ж., Сабырбаева Б.Т.</i> Комплексный анализ влияния антропогенных факторов на ландшафтно-геохимическое состояние геосистем Верхне-Иртышского бассейна	26
<i>Мамышева А.М., Тогузова М.М., Рахымбердина М.Е., Амралинова Б.Б., Тогузов М.З.</i> Разработка картографического обеспечения мониторинга радиостойчивости территории ВКГТУ им. Д. Серикбаева с применением современных ГИС-технологий	29
<i>Сексенова Н.К., Быков Р.А., Кожсаканова М.Б., Қантай Н., Мамяченков С.В.</i> Современные направления переработки отходов горно-металлургического производства с использованием комбинированных схем	34
<i>Сплодитель А.О., Сорокина Л.Ю.</i> Задачи геоэкологического мониторинга техногенных изменений ландшафтов Украины	38
<i>Сураужанов К.О., Тогузов М.З.</i> Перспективные способы переработки хлоридных отходов титанового производства	44
<i>Тарасенко Г.В.</i> Геологическое строение Аккулковского вала и перспективы газоснабженности района	48
<i>Тымбаева А.А., Куленова Н.А., Мамяченков С.В.</i> Вопрос накопления сульфата натрия при гидрометаллургической переработке мышьяковых промпродуктов	55



ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР	ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ
<i>Абылкалыкова Р.Б., Жапарова М.С., Иманжанова К.Т., Нуркенова Б.Д.</i> Динамикалық жүктеме кезінде темір негізіндегі металл жүйелердегі механо-химиялық процестер	<i>Абылкалыкова Р.Б., Жапарова М.С., Иманжанова К.Т., Нуркенова Б.Д.</i> Механохимические процессы в металлических системах на основе железа при динамических нагрузках
59	59
<i>Абылкалыкова Р.Б., Квеглиц Л.И., Иманжанова К.Т., Нуркенова Б.Д., Жапарова М.С.</i> Ионды имплантация кезіндегі танталдағы массатасымалдау ерекшеліктері	<i>Абылкалыкова Р.Б., Квеглиц Л.И., Иманжанова К.Т., Нуркенова Б.Д., Жапарова М.С.</i> Особенности массопереноса в тантале при ионной имплантации
63	63
<i>Айтказина А.К., Галкина Д.К., Нугуманов Д.Т.</i> Бетон беріктігінің статистикалық сипаттамаларын анықтау	<i>Айтказина А.К., Галкина Д.К., Нугуманов Д.Т.</i> Определение статистических характеристик прочности бетона
68	68
<i>Аубакирова Д.М., Ердыбаева Н.К., Сагдолдина Ж.Б., Пичугин В.Ф.</i> Реактивті магнетронды тозаңдату әдісімен өсірілген титан оксинитридті жабындыларының фазалық құрамын зерттеу	<i>Аубакирова Д.М., Ердыбаева Н.К., Сагдолдина Ж.Б., Пичугин В.Ф.</i> Исследование фазового состава оксинитридных покрытий титана, выращенных методом реактивного магнетронного распыления
73	73
<i>Баймолданова Л.С., Уазырханова Г.К., Гриценко Б.П., Сабиева М.К.</i> Алтынмен имплантациялау нәтижесінде көпқабатты (TiAlYSi)N/CrN жабынындағы элементтердің қайта таралуы	<i>Баймолданова Л.С., Уазырханова Г.К., Гриценко Б.П., Сабиева М.К.</i> Перераспределение элементов многослойного покрытия (TiAlYSi)N/CrN в результате имплантации золота
76	76
<i>Балгынова А.М.</i> Роторлық центрифуганың белгіленген жұмыс режимінің шарттарын негіздеу	<i>Балгынова А.М.</i> Обоснование условия установившегося режима работы роторной центрифуги
81	81
<i>Балгынова А.М., Мерекеқызы А.</i> Сұйық органикалық материалдарды ортадан тебу арқылы сусыздандыру бойынша әзірлемелердің негізгі тенденциялары мен техникалық деңгейі	<i>Балгынова А.М., Мерекеқызы А.</i> Основные тенденции и технический уровень разработок по центробежному обезвоживанию жидких органических материалов
85	85
<i>Барукин А.С., Клецель М.Я., Әмірбек Д.Ә.</i> Түрлендіруші қондырғылардың дәстүрлі және жаңа қорғаныстарының дайын болмау коэффициенттерін есептеу	<i>Барукин А.С., Клецель М.Я., Әмірбек Д.Ә.</i> Расчет коэффициентов неготовности традиционной и новой защит преобразовательных установок
92	92
<i>Блинаева Е.В., Попова Г.В., Смаилова С.С., Яковлев В.С.</i> Шикі мұнай үлгілерінен күкірт пен парафинді бөлу процесінің деректерін өңдеу жүйесі	<i>Блинаева Е.В., Попова Г.В., Смаилова С.С., Яковлев В.С.</i> Система обработки данных процесса выделения серы и парафина из образцов сырой нефти
96	96
<i>Вдовин В.Н.</i> Жүктің шағын партияларын өңдеуге арналған терминалдарды орналастыру міндеті	<i>Вдовин В.Н.</i> Задача размещения терминалов по переработке мелких партий груза
100	100
<i>Григорьева С.В., Алимханова А.Ж., Дмитриева Т.С., Елеусизова К.А.</i> Заттардың оптикалық интернеті	<i>Григорьева С.В., Алимханова А.Ж., Дмитриева Т.С., Елеусизова К.А.</i> Оптический интернет вещей
104	104
<i>Дудкин М.В., Ким А.И., Мўйўсзак М., Дудкина Е.Л., Жанабаева М.О.</i> Жолдарды қысқы күтіп ұстау үшін мұзжарғыштың тәжірибелік-өнеркәсіптік үлгісін әзірлеу және дайындау. Шешімдерді түзету (AP05130653 жобасы)	<i>Дудкин М.В., Ким А.И., Мўйўсзак М., Дудкина Е.Л., Жанабаева М.О.</i> Разработка и изготовление опытно-промышленного образца льдоскалывателя для зимнего содержания дорог. Корректировка решений (проект AP05130653)
109	109
<i>Дудкин М.В., Ким А.И., Мўйўсзак М., Гурьянов Г.А., Дудкина Е.Л.</i> AP05130653 жобасы бойынша табиғи эксперименталды зерттеулер және жолдар мен тротуарларды қысқы күтіп ұстауға арналған мұзжарғыштың тәжірибелік өнеркәсіптік үлгісінің құрылымын түзету	<i>Дудкин М.В., Ким А.И., Мўйўсзак М., Гурьянов Г.А., Дудкина Е.Л.</i> Натурные экспериментальные исследования по проекту AP05130653 и корректировка конструкции опытного промышленного образца льдоскалывателя для зимнего содержания дорог и тротуаров
114	114

<b>Егоров А.А.</b> ДВС жұмыс цикліндегі жылу бөлу процесінің термодинамикасы	120	<b>Егоров А.А.</b> Термодинамика процесса тепловыделения в рабочем цикле ДВС	120
<b>Ермекова А.Т., Запасный В.В., Матюхин В.И., Асанов Д.А.</b> Ақсу феррокорытпа зауытында шаң ұстау жүйесінің жұмыс тиімділігіне газ құбырларында шаңның шөгуін және оның әсерін зерттеу	125	<b>Ермекова А.Т., Запасный В.В., Матюхин В.И., Асанов Д.А.</b> Исследование осаждения пыли в газоходах и его влияние на эффективность работы систем пылеулавливания на Аксуском заводе ферросплавов	125
<b>Жаутиков Б.А., Даирбекова Г.С., Романов В.И., Зобнин Н.Н.</b> Литий-ионды аккумуляторлар өндірісіндегі заманауи жетістіктер мен перспективалар	128	<b>Жаутиков Б.А., Даирбекова Г.С., Романов В.И., Зобнин Н.Н.</b> Современные достижения и перспективы в производстве литий-ионных аккумуляторов	128
<b>Келаманов Б.С., Жумағалиев Е.У., Самуратов Е.К., Ақуов А.М., Ерекеева Г.С.</b> «Астра-4» бағдарламалық кешенін пайдалана отырып жасалған никель-хром шойынын балқыту үшін термодинамикалық есептеулерді талдау	131	<b>Келаманов Б.С., Жумағалиев Е.У., Самуратов Е.К., Ақуов А.М., Ерекеева Г.С.</b> Анализ термодинамических расчетов для выплавки никель-хромового чугуна, выполненный с использованием программного комплекса «Астра-4»	131
<b>Клецель М.Я., Калтаев А.Г., Талипов О.М., Акаев А.М.</b> Статор орамасында орамалы тұйықталу кезінде кернеуі 1 кВ төмен электр козғалтқыштарының параметрлерін эксперименттік зерттеу	135	<b>Клецель М.Я., Калтаев А.Г., Талипов О.М., Акаев А.М.</b> Экспериментальное исследование параметров электродвигателей напряжением ниже 1 кВ при обмотке статора	135
<b>Курманғалиев Т.Б., Бейімбек М.Е.</b> Темір көміртекті қорытпаларды лазерлік термиялық беріктендіру	138	<b>Курманғалиев Т.Б., Бейімбек М.Е.</b> Лазерное термическое упрочнение железоуглеродистых сплавов	138
<b>Макенов А.А., Давыдов А.А.</b> Автомобиль жол теліміндегі автобус аударылуын сараптамалық зерттеу	144	<b>Макенов А.А., Давыдов А.А.</b> Экспертное исследование опрокидывания автобуса на участке автомобильной дороги	144
<b>Муравьева И.Г., Капаева С.Д., Ғабдысәліқы Р.</b> Бериллий фольгасын илемдеу технологиясы	150	<b>Муравьева И.Г., Капаева С.Д., Ғабдысәліқы Р.</b> Технология прокатки бериллиевой фольги	150
<b>Мухаметқалиева Г.Ж., Аубакирова Р.А., Саурбаева Б.С., Акимбаева Н.О.</b> Мырыш өндірісіндегі электролит құрамындағы фторды анықтау	154	<b>Мухаметқалиева Г.Ж., Аубакирова Р.А., Саурбаева Б.С., Акимбаева Н.О.</b> Анализ электролита цинкового производства на содержание фтора	154
<b>Наумова В.И., Феоктистова Е.А., Кабылжапарова С.Р.</b> Полимерлік материалдарды пайдалана отырып, балалар мекемелерінің архитектурасын дамыту	159	<b>Наумова В.И., Феоктистова Е.А., Кабылжапарова С.Р.</b> Развитие архитектуры детских учреждений с использованием полимерных материалов	159
<b>Саканов Д.К.</b> Цемент-бетон жамылғыларының сапасын бағалау әдістері	167	<b>Саканов Д.К.</b> Методы оценки качества цементобетонных покрытий	167
<b>Сакенова Р.Е., Ердыбаева Н.К., Гриценко Б.П.</b> ZrN/CrN/ZrCr/ZrN/CrN көп қабатты композиттік жабынды зерттеу әдістері	175	<b>Сакенова Р.Е., Ердыбаева Н.К., Гриценко Б.П.</b> Методы изучения многослойных композитных покрытий ZrN/CrN/ZrCr/ZrN/CrN	175
<b>Саурбаева Б.С., Аубакирова Р.А., Иващенко Е.Н., Шаихова Б.К., Афанасенкова И.В.</b> «Қазмырыш» ЖШС ӨМҚ металлургиялық өнімдерін спектрофотометриялық әдіспен метрологиялық қамтамасыз ету және талдау	180	<b>Саурбаева Б.С., Аубакирова Р.А., Иващенко Е.Н., Шаихова Б.К., Афанасенкова И.В.</b> Метрологическое обеспечение и анализ металлургической продукции УК МК ТОО «Казцинк» спектрофотометрическим методом	180
<b>Хапин А.В., Махиев Б.Е.</b> Құрылыс конструкцияларының сенімділігі мен ұзақ мерзімділігі зертханасы: тарихы мен келешегі	186	<b>Хапин А.В., Махиев Б.Е.</b> Лаборатория надежности и долговечности строительных конструкций: история и перспективы	186

**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 27 шілде 2020 ж. қол қойылды.  
Форматы 84×108/16. Офсет қағазы.  
Көлемі: шартты баспа табағы 20,16, есептік баспа табағы 19,97.  
Таралымы 350 дана. № 1060-2020 тапсырыс.  
Бағасы келісім бойынша.



Подписано в печать 27 июля 2020 г.  
Формат 84×108/16. Бумага офсетная.  
Объем: усл. печ. л. 20,16, уч.-изд. л. 19,97.  
Тираж 350 экз. Заказ № 1060-2020.  
Цена договорная.

---

Шығыс Қазақстан техникалық университеті  
070004, Өскемен қаласы, Протозанов көшесі, 69

Восточно-Казахстанский технический университет  
070004, г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова, 69