

УДК 628.168.3

## ПАРНЫЙ НЕЛИНЕЙНЫЙ РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ КОРРОЗИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ФОСФОНОВЫХ КИСЛОТ

НЕЧИТАЙЛО Н. П.<sup>1</sup>, к.т.н, доц.  
КОСЮК Е. Н.<sup>2</sup>, аспирант

<sup>1</sup> кафедра водоснабжения, водоотведения и гидравлики, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, г. Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-79, e-mail: n\_np@mail.ru

<sup>2</sup> кафедра водоснабжения, водоотведения и гидравлики, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, г. Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-79, e-mail: evgeniykosuk1992@gmail.com

**Аннотация. Цель.** Изучение коррозионных свойств фосфоновых кислот в модельных растворах. Получение закономерностей изменения глубинного показателя коррозии от концентрации вводимых композиций реагентов на основе фосфоновых кислот. Получение уравнения регрессии коррозионных испытаний фосфоновых кислот. **Методика.** Скорость коррозии определяли гравиметрическим методом согласно ГОСТ 9.502-82. Обработку результатов экспериментов проводили при помощи программы Microsoft Excel. **Результаты.** На основании проведенных исследований был сделан вывод, что использование смеси фосфоновых кислот эффективнее, чем отдельных ее компонентов. Это объяснено явлением синергизма, как явления взаимного усиления отдельных композиций исследуемого реагента. **Научная новизна.** На основании проведенных исследований разработаны составы экологически безопасных композиций ингибиторов коррозии. **Практическая значимость.** Подобраны оптимальные составы и концентрации ингибиторов коррозии на основе фосфоновых кислот. Получено уравнение регрессии изменения глубинного показателя коррозии от дозировки смеси ФБТК и ОЭДФ.

*Ключевые слова:* коррозия, соли, оборотные системы водоснабжения, фосфоновые кислоты.

## ПАРНИЙ НЕЛІНІЙНИЙ РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ КОРОЗІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ ФОСФОНОВИХ КИСЛОТ

НЕЧИТАЙЛО М. П.<sup>1</sup>, к.т.н, доц.  
КОСЮК Є. М.<sup>2</sup>, асп.

<sup>1</sup> кафедра водопостачання, водовідведення та гідраліки, Державний вищий навчальний заклад « Придніпровська державна академія будівництва та архітектури » , вул . Чернишевського , 24 - а , 49600 , м. Дніпро , Україна , тел . +38 ( 0562 ) 47-02-79, e-mail: n\_np@mail.ru

<sup>2</sup> кафедра водопостачання, водовідведення та гідраліки, Державний вищий навчальний заклад « Придніпровська державна академія будівництва та архітектури » , вул . Чернишевського , 24 - а , 49600 , м. Дніпро , Україна , тел . +38 ( 0562 ) 47-02-79, e-mail: evgeniykosuk1992@gmail.com

**Анотація. Мета.** Вивчення корозійних властивостей фосфонових кислот в модельних розчинах. Отримання закономірностей зміни глибинного показника корозії від концентрації впроваджуються композицій реагентів на основі фосфонових кислот. Отримання рівняння регресії корозійних випробувань фосфонових кислот. **Методика.** Швидкість корозії визначали гравіметричним методом згідно ГОСТ 9.502-82. Обробку результатів експериментів проводили за допомогою програми Microsoft Excel. **Результати.** На підставі проведених досліджень був зроблений висновок, що використання суміші фосфонових кислот ефективніше, ніж окремих її компонентів. Це пояснено явищем синергізму, як явища взаємного посилення окремих композицій досліджуваного реагенту. **Наукова новизна.** На підставі проведених досліджень розроблено склади екологічно безпечних композицій інгібіторів корозії. **Практична значимість.** Підібрані оптимальні склади і концентрації інгібіторів корозії на основі фосфонових кислот. Отримано рівняння регресії зміни глибинного показника корозії від дозування суміші ФБТК і ОЕДФ.

*Ключові слова:* корозія, солі, оборотні системи водопостачання, фосфонові кислоти.

## DOUBLES NON-LINEAR REGRESSION ANALYSIS OF THE CORROSION TESTS PHOSPHONIC ACIDS

NECHITAYLO N. P.<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.,  
KOSYUK E. N.<sup>2</sup>, PhD stud.

<sup>1</sup> Department of Water supply, Sewerage and Hydraulics, State higher educational establishment the "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Chernyshevskogo st., 24-a, 49600, Dnepr, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-79, e-mail: n\_np@mail.ru

<sup>2</sup> Department of Water supply, Sewerage and Hydraulics, State higher educational establishment the "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Chernyshevskogo st., 24-a, 49600, Dnepr, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-79, e-mail: evgeniykosuk1992@gmail.com

**Annotation. Goal.** The study of the corrosion properties of phosphonic acids in model solutions. Getting the patterns of change in the deep corrosion indicator of the concentration of the reagents administered compositions based on phosphonic acids. Obtaining the regression equation corrosion tests phosphonic acids. **Methods.** The corrosion rate was determined by gravimetric method in accordance with GOST 9.502-82. Processing the results of experiments carried out with the help of Microsoft Excel. **Results.** On the basis of these studies concluded that the use of mixtures of phosphonic acids efficiently than its individual components. This is explained by the phenomenon of synergism, as a phenomenon of mutual strengthening of certain compositions of the test reagent. **Scientific novelty.** Based on the studies developed compositions of environmentally friendly corrosion inhibitor compositions. **Practical significance.** Optimal compositions and concentrations of corrosion inhibitors on the basis of phosphonic acids. The equation of the regression of the deep changes the corrosion rate from the dosage mixture FBTK and HEDP.

*Keywords:* corrosion, salt, circulating water system, phosphonic acids

## Введение

Создание энергосберегающих технологий, которые смогли бы обеспечить максимальную экономию топливных и энергетических ресурсов, на сегодняшний день, являются актуальным. Практика эксплуатации систем, предусматривающих многократное использование ограниченных объемов воды и использование сточных вод в контурах охлаждения, столкнулась с проблемой возникновения на оборудовании отложений малорастворимых солей и продуктов коррозии [1].

Взаимосвязанный характер проблемы требует комплексного решения. В том случаи, когда продувки не обеспечивают поддержание оптимального водно-химического баланса (сухой остаток 750-1450 мг/л, хлориды не более 200 мг/л, сульфаты не более 200 мг/л, водородный показатель 8,5-9,5 [2]) необходимо применять соответствующую химическую обработку воды.

Долгое время в качестве ингибиторов коррозии и накипеобразования применяли соединения на основе фосфатов. Автор [3] первым обнаружил, что добавление к воде малых концентраций полифосфатов предотвращает осаждение карбонатов кальция и тормозит кинетику коррозионных процессов. Однако рост концентраций фосфатов нарушает биологическое равновесие, приводит к резкому повышению биопродуктивности водорослей. Так, один грамм триполифосфата натрия стимулирует образование 5-10 килограммов водорослей [4]. Более 50 лет для отмывки и ингибирования теплотехнического оборудования от коррозионных образований и отложений малорастворимых солей применяются комплексоны класса полиаминополикарбонатов кислот и композиций на их основе [5]. Аналогами ингибиторов коррозии и накипеобразования на основе фосфатов являются комплексоны.

Все большее распространение в последнее время приобретают комплексоны, содержащие фосфоновую группу. Фосфонаты лишены основных недостатков фосфатов: низкой

эффективности и высокой биоусвояемости [4]. Следует отметить, что фосфонаты способны не только предотвращать накипеобразование и коррозию, но и удалять уже образовавшиеся отложения. Так, оксиэтилендифосфоновая кислота (ОЭДФ) и аминотриметиленфосфоновая кислота (АТМФ, НТФ) активно применяются для предотвращения и удаления накипи в теплообменных и охлаждающих системах.

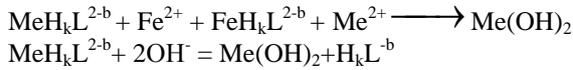
Удаление накипи и продуктов коррозии объясняется созданием в порах адсорбционных слоев фосфонатов. Под влиянием колебаний давления и градиентов температур, возникающих при эксплуатации систем, происходит разрушение кристаллических отложений и коррозионных повреждений, и, как следствие, превращение их в суспензию, которая легко удаляется из системы.

По результатам многочисленных испытаний растворов ОЭДФ для растворения отложений карбонатного типа были найдены условия, обеспечивающие максимально эффективные показатели по удалению накипи: исходная концентрация 30-40 мг/л, температура раствора 60-70 С. Следует подчеркнуть, что концентрация ОЭДФ не должна снижаться ниже 25-30 мг/л, так как это может привести к образованию осадка и значительно замедлить процесс удаления накипи [7].

Особенностью ОЭДФ и АТМФ является то, что они обладают эффектом стехиометрии, то есть в небольших дозах тормозят образование твердой фазы [8]. Среди недостатков ОЭДФ и АТМФ следует отметить их нестабильность в гипохлоридных средах.

В отличие от классических фосфоновых и аминокарбонатовых комплексонов 2-фосфобутан-1,2,4 – трикарбонная кислота (ФБТК) обладает устойчивостью в гипохлоридных средах [9], а также образует комплексы с меньшими константами устойчивости. Однако передозировка ФБТК может привести к повышению скорости коррозии [10].

Механизм действия фосфоновых кислот достаточно сложен. Он связан не только с адсорбцией, но и с поверхностными реакциями электрофильного замещения катион-комплексобразователей, осаждением труднорастворимых гидроксидов:



и образованием гетеро- и полинуклеарных комплексов [6].

Скорость коррозии  $K_k$  снижается пропорционально степени заполнения  $\Theta$  поверхности адсорбированным ингибитором

$$K_k^u = K_k^o (\theta^n - \theta) \quad (1)$$

где  $K_k^o$ ,  $K_k^u$  - скорость коррозии в среде без ингибитора и с ним, г / см<sup>2</sup> час.

$\Theta^n$  - заполнение поверхности, обеспечивающее полную защиту металла.

$$K = \frac{\Delta m}{S \cdot t} \quad (2)$$

где  $\Delta m$  - изменение массы металла, г;  $S$  - площадь исследуемого образца, см<sup>2</sup>;  $t$  - продолжительность эксперимента, час.

Тогда эффективность действия ингибитора описывается соотношением

$$Z = \frac{K_k^o - K_k^u}{K_k^u} = \frac{\theta}{\theta^n} \quad (3)$$

Зависимость между  $\Theta$  и  $C_{ин}$  описывается уравнением

$$\theta = KC_{ин} / (1 + RC_{ин}) \quad (4)$$

### Цель

Данная работа посвящена изучению решения проблемы ингибирования коррозии в оборотных системах охлаждения. Автором были изучены смеси на основе фосфоновых кислот. Целью исследования было получение закономерностей изменения глубинного показателя коррозии и степени защиты от концентрации вводимых композиций реагентов.

Таблица №1.

### Исследуемые композиции реагентов / The test reagent compositions

Наименования реагента	Состав
Реагент №1	ОЭДФ – 10 %
	НТФ – 10%
Реагент №2	ФБТК – 10%
	ОЭДФ – 10%
Реагент №3	ФБТК – 10%
	НТФ – 10%

### Методика эксперимента

Скорость коррозии определяли гравиметрическим методом, согласно ГОСТ 9.502-82 при естественной аэрации, температуре 20° С, скорости движения жидкости 1,2 м/с на образцах из стали С1010 в виде пластин

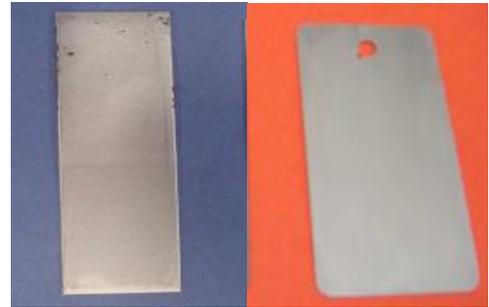


Рис.1. Исследуемые образцы/Specimen.

размерами 10x20x1 мм. Продолжительность испытания – 10 суток. В качестве фоновых электролитов использовали воду, содержащую 1,4 г/л CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O, 0,4 г/л MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 0,6 г/л NaCl, 0,075 г/л FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O. Качественные параметры фонового электролита представлены в таблице 2.

Таблица №2.

### Качественные параметры фонового электролита / Quality of background electrolyte

№	Показатель	Единицы измерения	Значение
1	Кальций	мг/л	168
2	Магний	мг/л	50
3	Жесткость общая	мг-экв/л	12,5
4	Железо	мг/л	1,84
5	Водородный показатель		8,85
6	Хлориды	мг/л	150
7	Сульфаты	мг/л	280
8	Общее солесодержание	мг/л	1680

Полученные значения скоростей коррозии использовали для расчета защитного эффекта.

$$Z = \frac{K_1 - K_2}{K_1} \cdot 100\% \quad (5)$$

Полученные кривые зависимости глубинного показателя коррозии и степени защиты от концентрации вводимых реагентов представлены на рисунке 2.

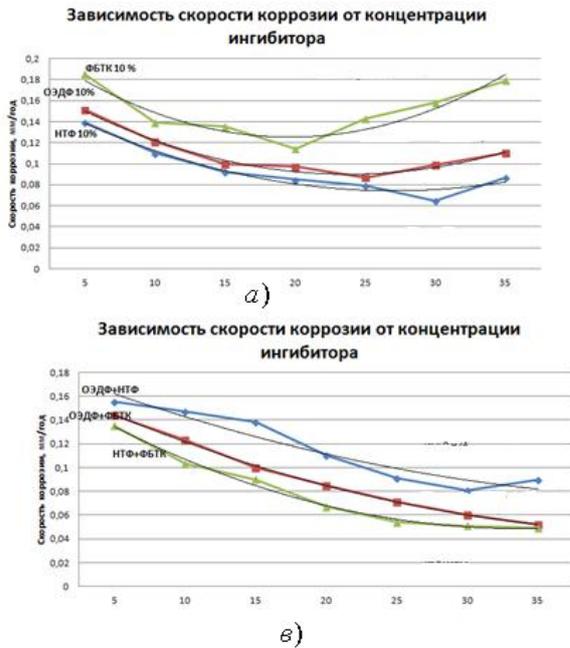


Рис.2. Результаты экспериментов. а) зависимость скорости коррозии от концентрации 10% растворов ФБТК, ОЭДФ, НТФ; в) зависимость скорости коррозии от концентрации реагентов 1,2,3 / Theresultsoftheexperiment. a) dependenceofthecorrosionrateontheconcentration 10% solutionsPBTK, HEDP, NTF; c) dependenceofthecorrosionrateontheconcentrationofthereactants 1,2,3.

**Экспериментальные результаты и их обсуждение**

Результаты эксперимента свидетельствуют о том, что использование смеси фосфоновых кислот эффективней, чем отдельных ее компонентов. Значительный интерес представляют композиции, в состав которых входит ФБТК. При использовании 10 % раствора ФБТК при концентрации 20 мг/л защитный эффект составил 67,5 %, а дальнейшее повышение концентрации вводимого реагента повлекло за собою стимуляцию коррозии. В смеси ФБТБ с ОЭДФ или НТФ наблюдалось существенное повышению защищаемой способности реагента. Это может быть объяснено явлением синергизма.

Карман	Частота
0,0514	1
7,04112	33
14,03084	7
21,02056	6
28,01028	1
Еще	6

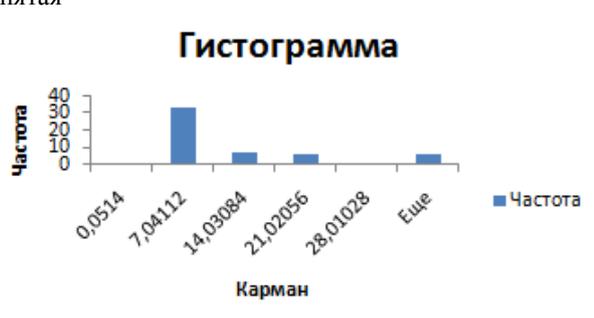


Рис.3. Гистограмма пакета анализа / Histogram analysis package.

интерпретация синергизма, как взаимного усиления компонентов ингибитора, приводящего к превышению их аддитивного защитного эффекта, объясняется неравенством

$$\lg(\gamma_{1+2}) \geq \lg \gamma_1 + \lg \gamma_2 \tag{6}$$

где  $\gamma$  - коэффициент торможения коррозии.

$$\gamma = \frac{K_1}{K_2} \tag{7}$$

Взаимное защитное влияние фосфоновых кислот в смеси оценивали коэффициентом  $k$

$$k = \frac{\lg(\gamma_{1+2})}{\lg \gamma_1 + \lg \gamma_2} \tag{8}$$

Зависимости коэффициента  $k$  от концентрации реагентов 1,2,3 свидетельствует о том, что повышение защитного аддитивного эффекта наблюдается только в смеси ФБТК и ОЭДФ. Это обусловлено возрастанием адсорбционных свойств ингибитора на защищаемой поверхности за счет наличия фосфоновой и карбоновой групп.

**Парный нелинейный регрессионный анализ коррозионных испытаний**

Автором статьи был проведен регрессионный анализ результатов коррозионных испытаний смеси ФБТК и ОЭДФ.

Сущность корреляционно-регрессионного метода состоит в том, что на основе имеющейся информации, полученной в результате статистических наблюдений за прошлое время, было составлено уравнение регрессии, представляющие собой математическую модель регрессии [11].

Проверка соответствия исследуемых признаков нормальному закону распределения представлена ниже.

Гистограмма для результативного признака построена с помощью инструмента Гистограмма пакета анализа и представлена на рис. 3.

С помощью инструмента Описательная статистика пакета анализа выполняем статистическую обработку многомерной

выборки. Результаты работы описательной статистики представлены на рисунке 4

	концентрация		скорость коррозии	
37				
38				
39	Среднее	15,92592593	Среднее	0,156611111
40	Стандартная ош	2,067883517	Стандартная ошибка	0,034167222
41	Медиана	14	Медиана	0,119
42	Мода	#Н/Д	Мода	#Н/Д
43	Стандартное отн	10,74503795	Стандартное отклонение	0,177538092
44	Дисперсия выбо	115,4558405	Дисперсия выборки	0,031519774
45	Эксцесс	-0,969865844	Эксцесс	0,800248774
46	Асимметричнос	0,499404442	Асимметричность	0,846159405
47	Интервал	34	Интервал	0,9056
48	Минимум	1	Минимум	0,0514
49	Максимум	35	Максимум	0,957
50	Сумма	430	Сумма	4,2285
51	Счет	27	Счет	27

Рис. 4. Результаты работы описательной статистики / The results of the descriptive statistics

Форма гистограммы свидетельствует о том, что изменение глубинного показателя коррозии в зависимости от концентрации вводимой смеси фосфоновых кислот подчиняется нормальному закону распределения.

Анализ значений числовых характеристик исследуемых признаков:

- среднее, мода и медиана имеют один порядок;
- эксцесс и асимметричность близки к нулю.

Следовательно, исследуемые признаки подчиняются нормальному закону распределения.

Запишем в общем виде модель парной

нелинейной регрессии

$$K = a_0 + a_1C + a_2C^2.$$

Для этого случая математическая запись метода наименьших квадратов имеет вид:

$$S(a_0, a_1, a_2) = \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1C_i + a_2C_i^2 - K_i)^2 \rightarrow \min.$$

Определим параметры модели регрессии с помощью инструмента Регрессия пакета анализа, выходная информация которого приведена на рисунке 5.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	вывод итогов								
2									
3	Регрессионная статистика				Fkp				
4	Множественный R	0,906127175			3,402826105				
5	R-квадрат	0,821066458							
6	Нормированный R-ква	0,806155329							
7	Стандартная ошибка	0,034008164							
8	Наблюдения	27							
9									
10	Дисперсионный анализ								
11		df	SS	MS	F	Значимость F			
12	Регрессия	2	0,127369122	0,063684561	55,06400519	1,07721E-09			
13	Остаток	24	0,027757325	0,001156555					
14	Итого	26	0,155126447						
15									
16		Коэффициенты	стандартная ошиб	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	нижние 95,0%	верхние 95,
17	Y-пересечение	0,292407973	0,019057062	15,34381186	6,62131E-14	0,253076131	0,33173982	0,253076131	0,33174
18	C	-0,018550992	0,002555802	-7,258385378	1,68876E-07	-0,023825908	-0,01327608	-0,02382591	-0,01328
19	C^2	0,000350164	6,73343E-05	5,200372772	2,50411E-05	0,000211192	0,00048913	0,000211192	0,000489

Рис. 5. Регрессия пакета анализа / Regression analysis package

Следовательно, модель парной нелинейной регрессии

$$K = 0,292 - 0,0185C + 0,00035C^2.$$

Для оценки качества модели регрессии используем коэффициент парной корреляции и критерий Фишера.

Коэффициент парной корреляции соответствует множественному R регрессионной статистики.

Коэффициент парной корреляции  $r_{\bar{Y}_X} = 0,906$ , т.е. связь между фактическими

и теоретическими значениями результативного признака сильная.

Расчетное значение критерия Фишера больше критического, следовательно, уравнение регрессии в целом статистически значимо и его можно использовать для прогноза

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дятлова Н. М., Темкина В. Я., Попов К. И. *Комплексоны и комплексоны металлов*. - М.: Химия, 1988. - 544 с. Режим доступа - <http://chemteq.ru/library/inorganic/2022.html>
2. Беликов С. Е. *Водоподготовка: Справочник.*: Аква-Терм, 2007. – 240 с. Режим доступа - <http://www.twirpx.com/file/37497/>
3. Розенфельд И. Л. *Ингибиторы коррозии*. М.: Химия, 1977, 350 с. Режим доступа - <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/793.html>
4. Берегис фосфаты, «Вода и водоочистные технологии», Андрусихина Т.А., №5 (55) от 10.2012/ Режим доступа - <http://presspoint.ua/izdaniya/opisanie/514>
5. Маклакова В. П., Бихман Б. И., Кузнецова Л. Л. //Химические реактивы и особо чистые вещества: Тр. ИРЕА. М.,1983, Режим доступа - [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=539&p=2](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=539&p=2)
6. Кузнецов Ю. И., Казанская Г. Ю., Ингибирование коррозии железа этилендиаминтетраметилефосфонатными комплексономатами, «Защита металлов», 1997, том 33, №3, с. 234-238. Режим доступа - <http://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-fosforsoderzhaschih-kompleksonov-i-kompleksonatov-v-kachestve-ingibitorovkorrozii-metallov>
7. Применение комплексонов для отмывки и ингибирования солеотложения в различных энерго- и теплосистемах., Дятлова Н.М., Терехин С.Н., Маклакова В.П. и др М.:НИИТЭХИМ, 1986, с.34-44. Режим доступа - <http://www.c-ok.com.ua/content/view/2636/>
8. Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева. 1984. Т. 29. В. 3. (Номер посвящен комплексонам и их применению.) Режим доступа - <http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/301/21301/4514>
9. Коробейникова Е. Ю., Автономова А. Ю, Меркулов Д. А., Гетеролигандное комплексообразование меди(II) с 2-фосфонобутан-1,2,4-трикарбонной кислотой и карбоновыми кислотами в водных растворах // Вестник удмуртского университета. - 2012. - Вып. 2. - С. 61-68 Режим доступа - <https://cyberleninka.ru/article/n/geteroligandnoekompleksoobrazovanie-medi-ii-c-2-fosfonobutan-1-2-4-trikarbonovoy-kislotoy-i-karbonovymi-kislotami-v-vodnyh-rastvorah>
10. Кузнецов Ю. И., Казанская Г. Ю., Цирульникова Н. В. Аминофосфатные ингибиторы коррозии стали, «Защита металлов», 2003, том 39, №2, с. 141 – 145. Режим доступа - <http://tekhnosfera.com/zaschita-ot-korrozii-nizkouglerodistoy-stali-vplastovoy-vode-fosfonatnymi-ingibitorami>
11. Ершова Н. М.Обработка данных средствами Excel при планировании эксперимента: учеб. пособие для вузов / Н. М. Ершова, Деревянко В. Н., Тимченко Р. А., Шаповалова О. В. – Д.ПГАСА, 2012. – 350 с.

## REFERENCES

1. Dyatlova N. M., Temkina V. Ya., Popov K. I. *Kompleksony i kompleksony metallov*. [Chelators and complexonates metals] - M.: Himiya, 1988. - 544 s. Rezhim dostupa - <http://chemteq.ru/library/inorganic/2022.html>. (in Russian).
2. Belikova S.E. *Vodopodgotovka: Spravochnik*. [Water: A Guide] M.: Akva-Term, 2007. – 240 s. Rezhim dostupa - <http://www.twirpx.com/file/37497/>. (in Russian).
3. Rozenfeld I.L. *Ingibitoryi korrozii*. [Corrosion inhibitors]. [Chelators and complexonates metals], M.: Himiya, 1977, 350 s. Rezhim dostupa - <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/793.html>. (in Russian).
4. Beregis fosfatyi, «Voda i vodoochistnyie tehnologii».[ Beware of phosphates, "Water and wastewater treatment technologies"], Andrusishina T.A., #5 (55) ot 10.2012/ Rezhim dostupa - <http://presspoint.ua/izdaniya/opisanie/514>(in Russian).
5. Maklakova V.P., B.I.Bihman B.I., Kuznetsova L.L. // *Himicheskie reaktivyi i osobo chistyie veschestva*. [Chemical reagents and high-clean substances]: Tr. IREA. M.,1983, Rezhim dostupa - [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=539&p=2](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=539&p=2)(in Russian).
6. Kuznetsov Yu.I., Kazanskaya G.Yu., *Ingibirovanie korrozii zheleza etilendiamintetrametilenfosfonatnyimikompleksonatami*, «Zaschita metallov».[ Inhibition of corrosion of iron ethylenediaminetetra metilenfosfonatnymi kompleksonotov, "Protection of Metals"], 1997, tom 33, #3, s. 234-238. Rezhim dostupa -<http://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-fosforsoderzhaschih-kompleksonov-i-kompleksonatov-v-kachestve-ingibitorovkorrozii-metallov>(in Russian).
7. Dyatlova N.M., Terehin S.N., Maklakova V.P. i dr.// *Primeneniye kompleksonov dlya otmyivki i ingibirovaniya soletozheniya v razlichnyih energo- i teplosistemah*. [Primeneniye Complexing agents for cleaning and scaling inhibition in a variety of energy and heating systems]. M.:NIITEHIM, 1986, s.34-44. Rezhim dostupa - <http://www.c-ok.com.ua/content/view/2636/>. (in Russian).
8. Zhurnal VHO [WMO Journal] im. D.I. Mendeleeva. 1984. T. 29. V. 3. (*Nomer posvyaschen kompleksonom i ih primeneniyu.*) Rezhim dostupa - <http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/301/21301/4514>(in Russian).
9. Korobeynikova E.Yu., Avtonomova A.Yu, Merkulov D.A., *Geteroligandnoekompleksoobrazovanie medi(II) s 2-fosfonobutan-1,2,4-trikarbonovoy kislotoy i karbonovymi kislotami v vodnyh rastvorah* .[ Geteroligandnoekompleksoobrazovanie copper (II) с 2 -fosfonobutan -1,2,4 -trikarbonovoy acid and carboxylic acids in aqueous solutions]// Vestnik udmurtskogo universiteta. - 2012. - Vyip. 2. - S. 61-68 Rezhim dostupa - <https://cyberleninka.ru/article/n/geteroligandnoekompleksoobrazovanie-medi-ii-c-2-fosfonobutan-1-2-4-trikarbonovoy-kislotoy-i-karbonovymi-kislotami-v-vodnyh-rastvorah>(in Russian).
10. Kuznetsov Yu.I., Kazanskaya G.Yu., Tsiurulnikova N.V. *Aminofosfatnyie ingibitoryi korrozii stali*. [Amino phosphate corrosion inhibitors of steel, "Protection of Metals"], «Zaschita metallov», 2003, tom 39, #2, s. 141 – 145. Rezhim dostupa - <http://tekhnosfera.com/zaschita-ot-korrozii-nizkouglerodistoy-stali-vplastovoy-vode-fosfonatnymi-ingibitorami>(in Russian).
11. Ershova N.M. *Obrabotka dannyih sredstvami Excel pri planirovaniu eksperimenta: ucheb. posobie dlya vuzov* / N.M. Ershova, V.N. Derevyanko, R.A. Timchenko, O.V. Shapovalova. – D.PGASA, 2012. – 350 s. (in Russia).