

DOI:10.26104/NNTIK.2023.32.49.015

Кубатбек уулу К., Руслан Адил Акай, Омурзак уулу Э., А. Жакыпбеков

**НАНОБӨЛҮКЧӨЛӨРДҮ ПОЛИМЕРДИК ПОРОШОК БОЁКТОРУНДА
АНТИБАКТЕРИАЛДЫК АГЕНТ КАТАРЫ КОЛДОНУУ**

Кубатбек уулу К., Руслан Адиль Акай, Омурзак уулу Э., Жакыпбеков А.

**ПРИМЕНЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ В КАЧЕСТВЕ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ
СРЕДСТВ В ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВЫХ КРАСКАХ**

Kubatbek uulu K., Ruslan Adil Akay, Omurzak uulu E., A. Zhakypbekov

**APPLICATION OF NANOPARTICLES IN POLYMER POWDER
PAINTS AS ANTIBACTERIAL AGENTS**

УДК: 546.56+546.57+546.47

Бул макалада жез, цинк, күмүш жана алардын оксиддеринин нанобөлүкчөлөрү (НБ) жогорку тазалыктагы металлдан импульстук плазма ыкмасы менен синтезделиши жана алардын боёктордо антибактериалдык агент катары колдонулушу сунушталат. Баардык НБ дисстирленген суу ичинде синтезделди. Жез, цинк, күмүш үлгүлөрүнүн рентген фазалык анализин колдонуу менен фазалык курамы жезди жана жез оксидин, цинк жана цинк оксидин, күмүш жана күмүш оксидин камтырын көрсөттү. Сканирлөөчү электрондук микроскоп анализи алынган үлгүлөр нанобөлүкчө экинчи тастыктады. Бул ыкма менен алынган жез, цинк, күмүш жана алардын оксидинин НБ курулуш материалдарында колдонуу багыты каралды. Изилдөөнү жүргүзүү үчүн полимердик порошоктук боёктор (ППБ) менен аралаштырылган НБ, металл бетине электростатикалык токту жардамы менен капталып, меше 10 мүнөт 180 ° С кармалган. Нанобөлүкчөлөр менен капталган металл пластиналары *Shigella* жана *Staphylococcus* бактерияларында антибактериалдык касиеттери аныкталды. Каптоолордун антибактериалдык эффективдүүлүгү контролдук, НБ жок ППБ менен капталган пластинанын бактерияларга жасаган таасири менен салыштырылды. Изилдөөнүн натыйжасында, жез жана жез оксидинин НБ капталган үлгү эң жогорку антибактериалдык касиетти көрсөттү. Ал эми эң аз эффективдүүлүктү каптоосунда цинк жана цинк оксидинин нанобөлүкчөсү бар үлгү көрсөткөн. Изилдөөнүн жыйынтыгында жогорудагы айтылган баардык металлдын НБ, ППБ курамында антибактериалдык каптоо катары жарайт деген жыйынтык алынды.

Негизги сөздөр: жез, цинк, күмүш, нанобөлүкчөлөр, суюктуктагы импульстук плазма, полимердик порошок боёк, антибактериалдык боёк.

В этой статье предлагается синтезирование наночастиц (НЧ) меди, цинка, серебра и их оксидов из высоко чистого слитка вышесказанных металлов, методом импульсной плазмы и применение их в качестве антибактериального агента в составе полимерной порошковой краски (ППК). НЧ всех образцов были получены в дистиллированной воде. Рентген фазовый анализ образцов наночастиц меди, цинка и серебра показал содержание в фазовом состав меди и оксида меди, цинка и оксида цинка, серебра и оксида серебра соответственно. Анализ электронного сканирующего микроскопа подтвердил наноразмерности полученных образцов. Рассмотрено использование

НЧ меди, цинка, серебра и их оксидов, полученные этим методом в строительных материалах. Для проведения исследования, НЧ металлов смешанные с ППК, были покрыты с на металлическую подложку с помощью электростатического тока, и в последующем были помещены в печь в режиме 10 мин 180 ° С. Были обнаружены антибактериальные свойства металлических пластин покрытые НЧ на бактериях *Shigella* и *Staphylococcus*. Антибактериальные эффективность покрытий были сравнены контрольной пластиной, которая была покрыта ППК без НЧ. По итогам исследования самую высокую эффективность показал образец покрытая НЧ меди и оксида меди. А наименьшую эффективность обнаружили у образца, который был покрыт НЧ цинка и оксида цинка. По итогам исследования все НЧ вышесказанных металлов, в составе полимерной порошковой краски пригодны как антибактериальные покрытия.

Ключевые слова: медь, цинк, серебро, наночастицы, импульсная плазма в жидкости, полимерная порошковая краска, антибактериальное качество.

This article proposes the synthesis of nanoparticles (NP) of copper, zinc, silver and their oxides from a high-purity ingot of the above metals using the pulsed plasma method and their use as an antibacterial agent in the composition of polymer powder paint (PPP). NP of all samples were obtained in distilled water. X-ray phase analysis of samples of copper, zinc and silver NP showed the content in the phase composition of copper and copper oxide, zinc and zinc oxide, silver and silver oxide, respectively. The analysis of the electron scanning microscope confirmed the nanodimensions of the obtained samples. The use of NP of copper, zinc, silver and their oxides obtained by the method of pulsed plasma in building materials is considered. To conduct the study, metal NP mixed with PPP were coated on a metal substrate using electrostatic current, and subsequently placed in an oven at 10 min at 180 ° C. The antibacterial properties of metal plates coated with NP were found on *Shigella* and *Staphylococcus* bacteria. The antibacterial efficacy of the coatings was compared with a control plate that was coated with a PPP without NP. As a result of the study, the sample coated with copper and copper oxide NP showed the highest efficiency. And the lowest efficiency was found in the sample, which was coated with zinc and zinc oxide NP. As a result of the study, all NP of the above metals, as part of a PPP, are suitable as antibacterial coatings.

Key words: copper, zinc, silver, nanoparticles, pulsed plasma in liquid, polymer powder paint, antibacterial quality.

Киришүү. Бүгүнкү күндө өндүрүш темирди дат басуудан коргоо максатында каптоонун бир түрү болгон, ППБ менен каптоодо.

ППБ көп тармактарда кеңири колдонулууда, анын ичинде үй-тиричилик техникаларында, унаа курулушунда, курулуш материалдарында, транспортто, ж.б. жана акырындан жөнөкөй суюк боектордун ордун алмаштырып келүүдө [1, 2]. ППБдо эриткичтер жок болгондуктан, жеңил буулануучу органикалык кошулмалардын эмиссиясы жокко эсе. Порошок каптоолорго болгон суроо талаптын өсүүсү менен көптөгөн функционалдык ППБ пайда болду. Анын ичинде гидрофобдук [3], атмосферага туруктуу [4], ысыкка чыдамдуу [5], коррозияга каршы [6], өзүн-өзү калыбына келтирүүчү [7], жана антимикробдук касиетке ээ [9] боекторду айтсак болот. Жашоо деңгээлинин өсүшү менен адамдар өзүнүн ден соолугуна жана санитардык-гигиеналык шарттарга көбүрөөк көңүл бөлүшүдө. Патогендер көп учурда ар кайсы беттерде бир нече саат, күн, жума же андан дагы көп убакыт жашай алышат. Мисалы, жаңы коронавирус COVID-19 21-24 °C температурада жана беттин 20 % салыштырмалуу нымдуулугунда жарым ажыроо мезгили 18 саатты түзөт [10]. Изилдөөлөрдүн көрсөтүүсү боюнча айыл жергесиндеги микроорганизмдердин орточо саны 138 КОЕ/см² түзөт, ошол эле учурда шаарларда – 72 КОЕ/см² түзүүдө, ал эми коомдук жайларда андан дагы жогоруу [11]. Мындан улам инфекциялык оорулардын жайылуусун алдын алуу максатында, антимикробдук касиетке ээ каптоолорду кароо максатка ылайык келди.

Жез, цинк, күмүш [12-14], айрыкча күмүш НБ антимикробдук каптоолорду жасоодо кеңири колдонулат. НБ синтездөөнүн бир нече ыкмасы бар. Мисалы: лазердик абляция, пиролиз, суюктуктагы импульстук плазма ж.б. [14]. Суюктуктагы импульстук плазма алуу ыкмасында эки электроддун ортосунда ток өткөрбөөчү суюктуктун ичинде импульстук плазма жүрөт. Плазманын жогорку температурасынын таасири астында электрод материалы жана суунун молекулалары буу абалына, иондошкон плазма абалына айланат. Натыйжада НБ пайда болот.

Изилдөөлөрдө НБдүн ППБга кошуунун татаал жолдору каралган [14]. Ал ыкмалар кээ бир учурда

көп убакытты жана каражатты талап кылат, ал эми кээ бир ыкмалар болсо порошокту өндүрүүдө функционалдык кошулмалардын кошулушун талап кылат. Бул порошокту өндүрүү татаал процесс болгондуктан, даяр өндүрүмгө функционалдык кошулмаларды жөнөкөй аралаштыруу менен кошуу, ишти жеңилдетет жана даяр ППБ өз алдынча ар кандай касиеттерди пайда кылуу мүмкүнчүлүгүн берет [16].

Материалдар жана изилдөө методдору. *Реагенттер:* Жез зымы, цинк зымы, күмүш зымы (тазалыктары 99,999%), дистирленген суу, дат баспоочу темир пластина, полимердик порошок боегу, агар пластинасы, *Shigella* жана *Staphylococcus* бактериялары, натрий хлориди, мочевино, сүт кислотасы.

Жабдыктар: импульстук плазма аппараты, стакан, полимердик порошок чачуучу жабдык, температурасы жөндөлүүчү меш, петри идиштери, термостат, автоклав жабдыгы, бунзен горелкасы, жылыткыч, рентген дифракциялык анализ жабдыгы, сканирлөөчү электрондук микроскоп.

НБдүн синтези металлдан турган электроддорду микроэмульсиялык диспергирлөө менен жетишилет. Бирдик импульстун энергиясы 0,04 Дж түзөт.

Бир импульс 10⁻⁵ с убакытка жана 10⁶ - 10⁸ А/см² өлчөмүндөгү ток тыгыздыгына ээ, мындан улам импульс зонасында 3 -10 кбар басым жана 10⁴ - 10⁵ К температура пайда болот. Импульстун энергиясы ар кандай ток өткөрүүчү материалды диспергирлеп, жогорку температурадагы модификацияга ээ фазадагы нанобөлүкчөлөрдү алууга жарайт [17].

Синтездөө үчүн суюк чөйрө катары дисстирленген суу тандалып алынат. Анод жана катодго кезеги менен жез, цинк жана күмүш зымдары жайгаштырылып, бир нече саат бою НБ синтезделет. НБ синтезделген суюктукту тундуруу максатында бир нече убакытка тим калтырылат. Андан соң суудан бөлүнүп алынып кургатылат.

ППБ (1-сүрөт) катары Akzo Nobel N.V. компаниясынын Interpon аттуу өндүрүмү алынды [18].

Алынган үлгүлөрдү ППБ белгилүү бир катышта аралаштырылат. Төмөнкү жадыбал 1 НБ аралашмалардагы жалпы массалык катышы пайыз түрүндө берилген, калганы 100% чейин ППБ ээлейт.

1-жадыбал

Металлдардын нанобөлүкчөлөрүнүн полимердик порошоктук боек менен аралашмасындагы массалык үлүштөрү

Аралашмадагы кармалган НБ массалык үлүшү	Cu НБ	Zn НБ	Ag НБ	Cu/Zn НБ	Cu/Ag НБ	Ag/Zn НБ	Cu/Zn/Ag НБ
%	50	50	50	25/25	25/25	25/25	12.5/12.5/12.5

Даяр болгон аралашмалар металл бетине капталат. Металл пластинасы катары дат баспоочу металл тандалып алынган. Бул металлды тандоонун себеби, алдыдагы изилдөөлөрдө коррозия болуп таасир бербөөсү болду. Каптоо үчүн металл пластинанын бети

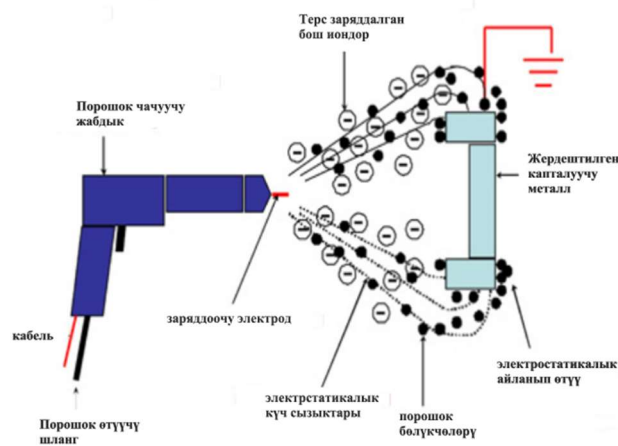
спирт менен тазаланып, ППБ чачуучу жабдык менен электростатикалык токтун жардамында капталат. Металл пластинага жабышкан аралашманы полимеризациялоо максатында 180 °C жана 10 мүнөт режиминде меште кармалат.



1-сүрөт. Полимердик порошок боёгу сол жакта жана он жакта металл пластинасына капталгандан кийинки абалы.

Аралашманы металл бетине каптоо жолу төмөндөгүдөй жүрөт. Даяр аралашма электростатикалык чачуучу жабдыктын кабыл алуучу идишине салынат. Идиштен шланг ичинде кысылган абанын жардамында, чачуучу жабдык көздөй транспорттолот. Жабдыктын оозунда заряддоочу электрод жайгашкан. Аралашма ал электродко жеткен учурда, заряд алып,

мурда жерге туташылган капталуучу металлды көздөй, электростатикалык тартуулу күчү менен барып жабышат (2-сүрөт). Биздин учурда чачуучу жабдыкты башкарып турган корондук разряд генераторунун жөндөмөлөрү төмөнкүчө болгон: иштөө чыналуусу 40 кВ жана ток күчү 40 мА. Ал эми чачуучу жабдык капталуучу металдан 40 см аралыкта жайгашкан.



2-сүрөт. Металлды полимердик порошок менен электростатикалык каптоо схемалык көрүнүшү.

Shigella жана *Staphylococcus* бактерияларына азык чөйрөлөрүн даярдоо.

Антимикробдук касиетке ээ деп болжонуп жаткан каптоонун касиетин тастыктоо үчүн бактерияларга азык чөйрө даярдоо керек. Азык чөйрө катары Plant Count Agar – агар чөйрөсү колдонулду. Аны даярдоо үчүн төмөнкү тартипте иш алып бардык. Алгач 28 грамм агар химиялык стаканга тартып алынып 1000 мл сууга эритилет. Алынган суспензия, чөйрө толук эрүүсүнө чейин кайнатылат. Ээриген чөйрөнү стерилдөө максатында 15 мин 121 °С температурада автоклавда карматылат. Стерилдөө бүткөндөн кийин, чөйрөнү 40-45°С чейин муздатуу керектелет. Муздаган соң, стерилденген петри идиштерине куюлат.

Бактериялар азыктандыруучу чөйрөгө көчүрүлүп, эксперименттин тазалыгы үчүн 30 мин убакытка

термостатка коюлуусу керек. Себеби, ал убакытта бактериялар жаңы азыктандыруучу чөйрөгө адаптация болушат.

Каптоолордун *Shigella* жана *Staphylococcus* бактерияларына көрсөткөн таасири

Адаптация болгон бактериялардын азык чөйрөсүнө металл пластиналары коюлуп, 24 саатка термостатка калтырылат. Белгиленген убакыт бүткөн соң, петри идиштери термостаттан алынып, үлгүлөрдүн лизис зонасы ченелет. Нанобөлүкчөлөрү бар каптоолордун антибактериялдык эффективдүүлүгүн билүү үчүн, контролдук курамында нанобөлүкчөлөр жок каптоо менен салыштырылат.

Каптоолордогу нанобөлүкчөлөрдүн туруктуулугун билүү максатында, жасалма тер суюктугуна 2 саатка чыланат. Адамдын тер суюктугун курамы ар

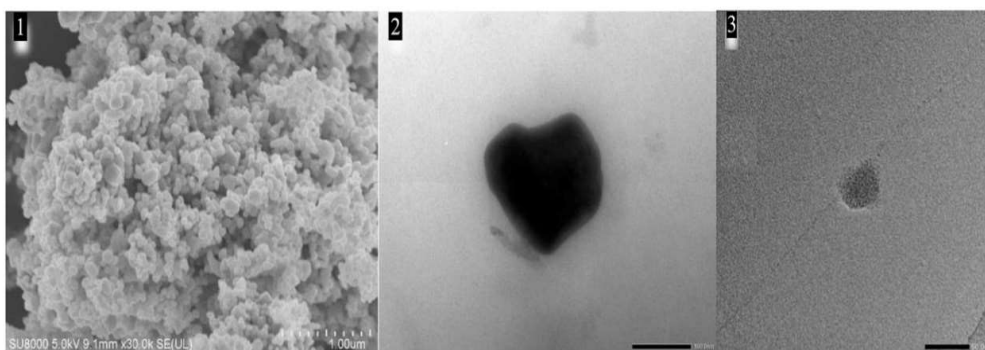
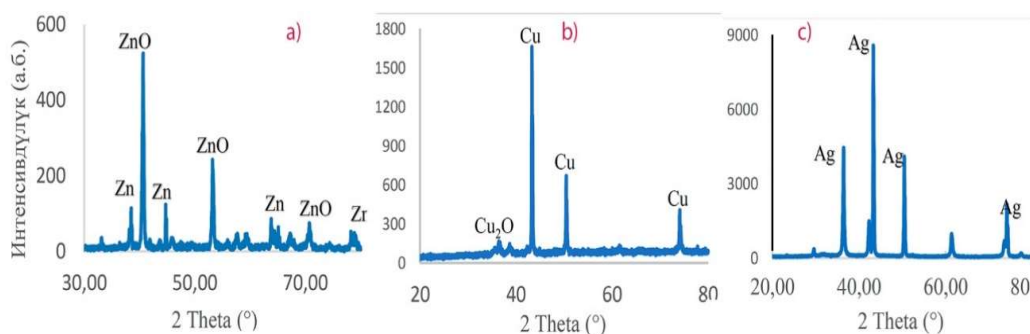
башка болгондуктан, Kulthong ж.б. [19] изилдөөсү боюнча EN1811-1999 стандартында берилген жасалма тер суюктугунда, металлдын иону жогорку көлөмдө бөлүнүп чыгарын аныкташкан. Ал эми металл иондорунун көп өлчөмдө бөлүнүүсү, каптоодогу антибактериалдык касиетти алып жүргөн бөлүкчөлөрдүн эффективдүүлүгүн азайышына алып келет.

EN1811-1999 стандартына ылайык жасалма тер суюктугунун курамы төмөндөгүчө: 1.08% натрий хлориди, 0.12% сүт кислотасы, 0.13% мочевины

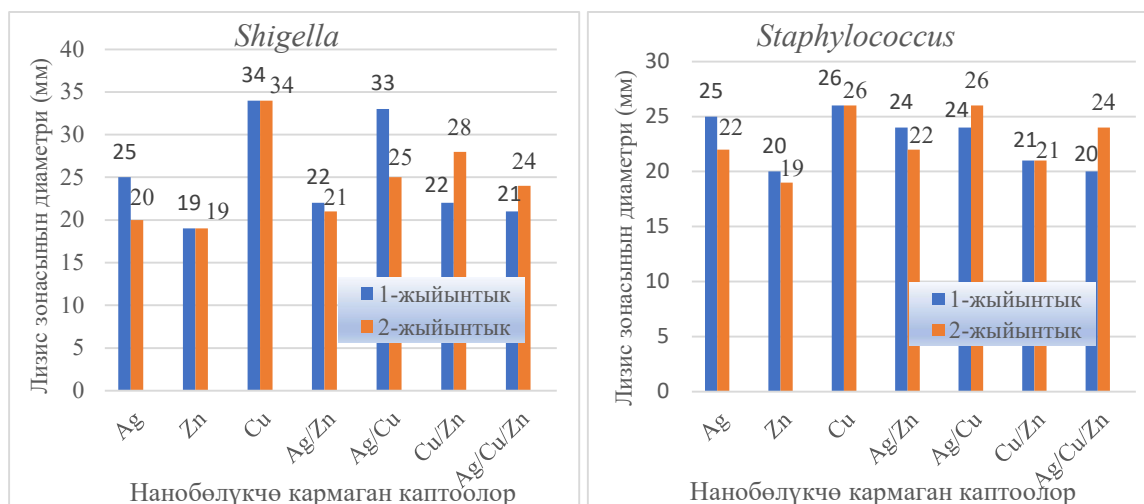
болуп, эриткич катары суу колдонулат.

Жасалма тер суюктугунда 2 саат чылангандан кийин, үлгүлөрдү дисстирленген суу менен чайкап, кайра жаңы чөйрөгө жайгашкан бактерияларга жайгаштырылат. 24 сааттан соң, жыйынтыктар алынып, биринчи жыйынтыктар менен салыштырылат.

Жыйынтык жана талкуулоо. Алдыда келтирилген 3-сүрөттө үлгүлөрдүн нанобөлүкчөлөрүнүн рентген фазалык анализдеринин жыйынтыктары берилген.



3-сүрөт. Импульстук плазма ыкмасында синтезделген нанобөлүкчөлөрдүн рентгенограммалык графиги жана сканирлөөчү электрон микроскоп сүрөтү: а) -3. цинк үлгүсү; б) -2 жез үлгүсү; в) -1. күмүш үлгүсү.



1-график. Антибактериалдык каптоолордун Shigella жана Staphylococcus бактерияларындагы биринчи жана тер суюктугуна чылангандан кийинки жыйынтыктары.

Рентген фазалык анализдин жыйынтыгы берилген үлгүлөр металлдардын өзүн жана алардын оксиддерин кармаарын көрсөткөн.

Сканирлөөчү электрондук микроскоптун көрсөткөн жыйынтыктары боюнча алынган үлгүлөр наоөлчөмдө экенин тастыктады.

1-графикте полимердик каптоолордун антибактериалдык эффектисинин жыйынтыктары берилген. Баардык каптоолор антибактериалдык касиеттерди ээ экени билинди. НБ кошулбаган полимердик каптоо, эч кандай антибактериалдык касиетти көрсөткөн эмес. Эң жогорку лизис зонасын, жез үлгүсүнөн алынган НБ кошулган каптоолор көрсөткөн. Каптоолордун жасалма тер суюктугуна чылангандан кийин, лизис зоналары өзгөргөн. Күмүш үлгүсүнөн алынган НБ бар каптоо, суюктуктан кийин лизис зонасы төмөндөп кеткен. Ал эми туруктуу лизис зонаны жез жана анын оксидин кармаган НБ бар каптоо кармап калган.

Корутунду. Дисстирленген суу ичинде импульстук плазма менен стабилдештирүүчү затсыз синтезделген жез, күмүш, цинк жана алардын оксиддеринин үлгүлөрү наоөлчөмдөргө ээ. Алынган баардык үлгүлөр *Shigella* жана *Staphylococcus* бактерияларына карата антибактериалдык касиетти алып жүрүшөт. ППБ жана НБдү жөнөкөй аралаштыруу менен антибактериалдык функционалы бар каптоону алса болот. Үлгүлөрдүн ичинен эң жогорку лизис зонасы жез Cu НБсүн кармаган үлгүгө таандык. Жасалма тер суюктугунун таасиринен кийин дагы туруктуу жыйынтыкты көрсөткөн Cu үлгүсү болду. Жогорку лизис зонасына ээ болгон Cu каптоосу *Staphylococcus* бактериясына караганда, *Shigella* бактериясында чоңураак лизис зонасын көрсөттү.

Адабияттар:

1. Fernández-Álvarez M., Velasco F., Bautista A., Abenojar J. Effect of silica nanoparticles on the curing kinetics and erosion wear of an epoxy powder coating. *J.Mater. Res. Technol.* 2020;9(1):455-464. doi: 10.1016/j.jmrt.2019.10.073.
2. Barletta M., Gisario A., Trovalusci F., Vesco S. Visual appearance and scratch resistance of high performance thermoset and thermoplastic powder coatings. *Prog.Org.Coat.* 2013;76(1):244-256. doi: 10.1016/j.porgcoat.2012.09.024.
3. Simpson J.T., Hunter S.R., Aytug T. Superhydrophobic materials and coatings: a review. *Rep.Prog.Phys.* 2015;78(8):086501. doi: 10.1088/0034-4885/78/8/086501.
4. Takeshita Y., Handa T., Kudo T. Improvement of Weathering Resistance for Developed Thermoplastic Polyester Powder Coating for Telecommunication Plant. *ZAKAEP.* 2010;59(6):228-231. doi: 10.3323/jcorr.59.228.
5. Wang Z., Zhang L., Hu W., Zhang X., Zhao G. Ultra-heat resistant, adhesive and anticorrosive properties of poly (dimethylsiloxane) resin/furan coating. *Prog. Org. Coat.* 2018; 125:500-506. doi: 10.1016/j.porgcoat.2018.10.005.
6. Shreepathi S., Bajaj P., Mallik B.P. Electrochemical impedance spectroscopy investigations of epoxy zinc rich coatings: Role of Zn content on corrosion protection mechanism. *Electrochim. Acta.* 2010; 55:5129-5134.
7. Shreepathi S., Bajaj P., Mallik B.P. Electrochemical impedance spectroscopy investigations of epoxy zinc rich coatings: Role of Zn content on corrosion protection mechanism. *Electrochim. Acta.* 2010;55:5129-5134.
8. Zhang F., Ju P., Pan M., Zhang D., Huang Y., Li G., Li X. Self-healing mechanisms in smart protective coatings: A review. *Corros. Sci.* 2018;144:74-88. doi: 10.1016/j.corsci.2018.08.005.
9. Shirkavand Hadavand B., Ataefard M., Fakharizadeh Bafghi H. Preparation of modified nano ZnO/polyester/TGIC powder coating nanocomposite and evaluation of its antibacterial activity. *Compos. B Eng.* 2015;82:190-195.
10. L. Dietz, P.F. Horve, D.A. Coil, M. Fretz, J.A. Eisen, K. Van Den Wymelenberg, 2019 Novel Coronavirus (COVID-19) Pandemic: Built Environment Considerations To Reduce Transmission, *mSystems* 5 (2020) e00245-00220.
11. Cui D., Liu X., Hawkey P., Li H., Wang Q., Mao Z., Sun J. Use of and microbial resistance to antibiotics in China: a path to reducing antimicrobial resistance. *J Int Med Res.* 2017; 45:1768-1778.
12. Левицкий, И. А. Медьсодержащие глазурные покрытия для майоликовых изделий / Свиридовские чтения: сборник статей. - Минск: Изд. центр БГУ, 2019. - Вып. 15. - С. 85-94.
13. Довнар, Р. И. Антибактериальные и физико-химические свойства наночастиц серебра и оксида цинка / С.М. Смотрин, С.С. Ануфрик, Т.Н. Соколова, С.Н. Анучин, Н.Н. Иоскевич // Журнал Гродненского ГМУ. - 2022. - Т. 20, №1. - С. 98-107.
14. Cui, J., Shao, Y., Zhang, H., Zhang, H., Zhu, J. Development of a novel silver ions-nanosilver complementary composite as antimicrobial additive for powder coating. *Chem. Eng. J.* 2020, 420, 127633.
15. Кожитов Л.В. Физические методы синтеза металлических наночастиц сплавов и композиционных материалов на основе переходных металлов учеб. Пособие. - Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2018. - 337 с.
16. https://amika.by/news/amika_advices/powder_coating_with_metallic_effect_application_features
17. Мурзабекова.Э.Т. (2016). Фотокаталитические свойства наноразмерного оксида цинка, полученного с использованием суммарной энергии импульсной плазмы и энергии межфазной поверхности. Молодой ученый, 13-19.
18. <https://shop.interpon.com/es/en/yq302f.html>
19. Kulthong K., Srisung S., Boonpavanitchakul K., Kangwan-supamonkon W., Maniratanachote R. Determination of silver nanoparticle release from antibacterial fabrics into artificial sweat. Part Fibre Toxicol. 2010;7(1):8. doi: 10.1186/1743-8977-7-8.
20. Омурзак уулу Э., Жолдошбекова Ч.Ж. Использование наночастиц в очищении воды. / Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2022. №. 4. - С. 35-44.