

А.Б. ГРИГОРОВ, О.О. МАРДУПЕНКО, І.В. СІНКЕВИЧ, К.В. ШЕВЧЕНКО

ЗАХИСНІ ВЛАСТИВОСТІ НАФТОПРОДУКТІВ, ОТРИМАННИХ З ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ

Проведено дослідження захисних властивостей нафтопродуктів, отриманих з використанням вторинної сировини, зокрема пластичних мастил та полімервмісних бітумів, які плануються використовувати у якості аналогів до нафтопродуктів, отриманих з класичної нафтової сировини. Технологія отримання пластичних мастил, полягала у проведенні термічної деструкції полімерних відходів поліетиленів, поліпропілену та полістиролу у лабораторних умовах при атмосферному тиску в реакторі періодичної дії, з подальшим видаленням з отриманих продуктів висококиплячих фракцій (початок кипіння >320 °C). Одержані висококиплячі фракції, за своїми властивостями, відповідали пластичним мастилам. В свою чергу бітуми, було отримано шляхом компаундування висококиплячих нафтових залишків, зокрема нафтового шламу з 10 % мас. полімерними добавками поліпропілену та пінополістиролу. Для цих продуктів, досліджувалася стійкість до впливу як атмосферної корозії, що виникає при експлуатації або зберіганні матеріалів з металевими поверхнями на відкритих майданчиках при дії навколишнього середовища, так і електрохімічної корозії, яка виникає при розташуванні технологічного обладнання та комунікацій у ґрунті особливо в присутності вологи. У ході проведених досліджень було з'ясовано, що як пластичні мастила, так і досліджувані бітуми, з усіма типами полімерів, мають високі захисні властивості. Вони запобігають утворенню на металевих пластинах, виготовлених зі сталі, марки Ст3, що знаходились у водних розчинах 10 % NaCl і 3 % Na_2SO_3 осередків корозії, що імітує вплив атмосферної корозії. А поляризаційні залежності, отримані потенціостатичним способом – характеризуються, у розглянутому діапазоні значень, відсутністю зміння щільності струму при постійному значенні потенціалу (2,5 V), що свідчить про відсутність електрохімічної корозії.

Ключові слова: пластичні мастила, бітуми, вторинна сировина, полімери, захисні властивості, корозія, імітаційні випробування, поляризаційні залежності, потенціостат.

А.Б. ГРИГОРОВ, А.А. МАРДУПЕНКО, І.В. СІНКЕВИЧ, К.В. ШЕВЧЕНКО

ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

Проведено исследование защитных свойств нефтепродуктов, полученных с использованием вторичного сырья, в частности пластичных смазок и полимерсодержащих битумов, которые планируются использовать в качестве аналогов к нефтепродуктам, полученных из классического нефтяного сырья. Технология получения пластичных смазок, заключалась в проведении термической деструкции полимерных отходов полиэтилена, полипропилена и полистирола в лабораторных условиях при атмосферном давлении в реакторе периодического действия, с последующим удалением из полученных продуктов высококипящих фракций (начало кипения > 320 °C). Полученные высококипящие фракции, по своим свойствам, отвечали пластичным смазкам. В свою очередь битумы, было получено путем компаундирования высококипящих нефтяных остатков, в частности нефтяного шлама с 10 % масс. полимерными добавками полипропилена и пенополистирола. Для этих продуктов, исследовалась устойчивость к воздействию как атмосферной коррозии, возникающей при эксплуатации или хранении материалов с металлическими поверхностями на открытых площадках при воздействии окружающей среды, так и электрохимической коррозии, которая возникает при расположении технологического оборудования и коммуникаций в почве, особенно в присутствии влаги. В ходе проведенных исследований было выяснено, что как пластичные смазки, так и исследуемые битумы, со всеми типами полимеров, имеют высокие защитные свойства. Они предотвращают образование на металлических пластинах, изготовленных из стали, марки Ст3, находящихся в водных растворах 10 % NaCl и 3 % Na_2SO_3 очагов коррозии, имитирующих влияние атмосферной коррозии. А поляризационные зависимости, полученные потенциостатичным способом - характеризуются, в рассматриваемом диапазоне значений, отсутствием изменения плотности тока при постоянном значении потенциала (2,5 V), что свидетельствует об отсутствии электрохимической коррозии.

Ключевые слова: пластичные смазки, битумы, вторичное сырье, полимеры, защитные свойства, коррозия, имитационные испытания, поляризаационные зависимости, потенциостат.

А.Б. GRIGOROV, O.O. MARDUPENKO, I.V. SINKEVICH, K.V. SHEVCHENKO

PROTECTIVE PROPERTIES OF OIL PRODUCTS RECEIVED OF WASTE

The protective properties of petroleum products obtained with the use of secondary raw materials, in particular plastic oils and polymer-containing bitumen, are investigated. The technology of obtaining plastic oils, was to conduct thermal degradation of polymeric wastes of polyethylene, polypropylene and polystyrene under laboratory conditions at atmospheric pressure in a batch reactor, with subsequent removal from the products of high-boiling fractions (onset of boiling > 320 °C), which match to plastic lubricant by their properties. Bitumen, in turn, was obtained by compounding high-boiling oil residues, in particular oil sludge with 10% by weight of polymeric additives of polypropylene and expanded polystyrene. For these products, resistance to atmospheric corrosion arising from the operation or storage of materials with metallic surfaces in open air, and environmental corrosion, which arises from the location of technological equipment and communications in the soil, especially in the presence of moisture, was investigated. In the process of researching it was found that both plastic oils and tested bitumen with all types of polymers have high protective properties. They prevent the formation of grade 3 metal sheets in aqueous solutions of 10 % NaCl and 3 % Na_2SO_3 corrosion cells, which mimic the effects of atmospheric corrosion. The study of the influence of electrochemical corrosion was carried out using polarization dependences obtained under laboratory conditions, using the potentiostat P-45X. To determine the protective properties we used working electrodes made of carbon steel grade St3 (Celsius = 0.14 cm^2), reinforced in a frame of epoxy resin ED-5 with a hardener polyethylene polyamine with a deposited layer (layer thickness 0.1 mm) of the investigated of petroleum products that were placed in 0.5 M NaCl solution. It was determined that during the studies for 30 days, in the considered range of values, there was no change in the current density at a constant value of the potential (2.5 V), indicating the absence of electrochemical corrosion and the high protective properties of petroleum from secondary raw materials.

Keywords: plastic oils, bitumen, secondary raw materials, polymers, protective properties, corrosion, simulation tests, polarization dependencies, potentiostat.

© А.Б. Григоров, О.О. Мардупенко, І.В. Сінкевич, К.В. Шевченко, 2020

Вступ. За останнє десятиріччя спостерігається активне використання у технологічному процесі виробництва нафтопродуктів, у якості сировини, різних видів промислових та побутових відходів. Цьому сприяє цілий ряд об'єктивних причин, основними з котрих є дефіцит класичної нафтової сировини, зниження собівартості продукції та екологічні аспекти, пов'язані з необхідністю впровадження технологій утилізації шкідливих відходів [1–3]. Отримані з вторинної сировини нафтопродукти повинні мати рівень експлуатаційних властивостей, аналогічний до нафтопродуктів з класичної нафтової сировини та в близькому майбутньому частково або повністю їх замінити. Але ця заміна неможлива без всебічного дослідження їх початкових властивостей та зміни цих властивостей під час експлуатації в реальних умовах.

Сьогодні, спираючись на світову практику, з числа нафтопродуктів при виробництві яких використовується вторинна сировина можна виділити пластичні мастила [4–6] та бітумні в'язучі [7–9], що використовуються у будівництві. У тих випадках, коли для виробництва пластичних мастил та бітумів використовується вторинна сировина – відходи, які ж до того, можуть бути додатково забруднені у процесі збору, зберігання та транспортування, різними агресивними домішками, що можуть оказувати корозійний вплив на металеві поверхні та бути малоефективними при захисті цих поверхонь при експлуатації або зберіганні.

Метою роботи є: дослідити захисні властивості від корозії нафтопродуктів, отриманих з вторинної сировини.

Атмосферна корозія виникає при експлуатації або зберіганні металевих агрегатів або конструкцій на відкритих майданчиках під дією атмосферних факторів: температури, вологості та різних хімічних сполук, що знаходяться у повітрі [10].

При експлуатації технологічного обладнання, особливо при його розташуванні у ґрунті (заглиблені комунікації, трубопроводи тощо), виникає потреба його захисту від корозійних процесів, що мають електрохімічний характер, який особливо інтенсивно протікає в присутності вологи, у кількості біля 20 % [11, 12].

Виклад основного матеріалу. Для дослідження захисних властивостей було обрано пластичне мастило, яке складалося з висококиплячої фракції (початок кипіння >320 °С), що отримано шляхом термічної деструкції при атмосферному тиску у лабораторному реакторі періодичної дії, полімерних відходів, з поліетилену високого та низького тиску (ПВТ, ПНТ), поліпропілену (ПП) і полістиролу (ПС). Також, для дослідження було обрано полімервмісний бітум, який містив добавку поліпропілену і пінополістиролу (ППС) у кількості 10 % мас, та був отриманий за технологією, що описано у роботі [7].

На першому етапі лабораторних досліджень було досліджено захисні властивості мастила та полімервмісного бітуму у агресивних середовищах, які моделюють вплив на металеву поверхню атмосферної корозії.

Так, відповідно до ГОСТ9.509 були проведені імітаційні випробування на пластинах, які були виконані зі сталі, марки Ст3. Для цього були заготовлені водні розчини, 10 % NaCl і 3 % Na₂SO₃ в які, помістили пластини з нанесеними на них мастилами (товщина шару нанесення дорівнювала, 0,1 мм), строком на 30 діб. Після цього пластини виймали з розчину і ретельно знімали шар мастила, з наступною візуальною оцінкою їх захисних властивостей (див. рис. 1–3).

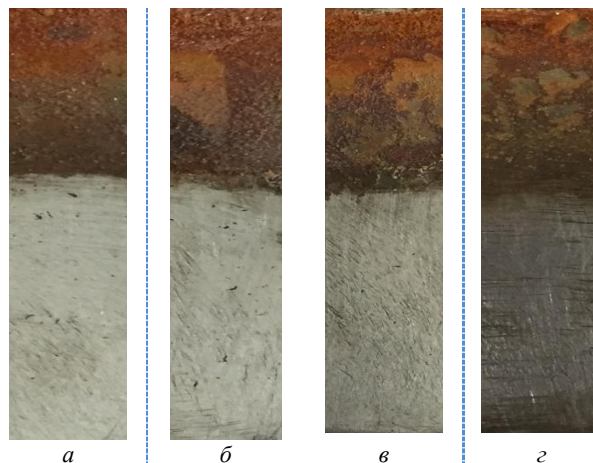


Рисунок 1 – Знімки пластин захищених мастилами, що отримані з ПНТ (а), ПВТ (б), ПП (в) та ПС (з), після перебування у 10 % NaCl

Як показують проведені дослідження, на поверхні сталевих пластин, які були захищені пластичним мастилом та полімервмісним бітумом, не залежно від типу полімеру, повністю відсутні осередки корозії. І, навпаки, та дільниця кожної пластини, що не була захищена мастилом або бітумом піддавалася корозійному впливу агресивного середовища.

Далі, дослідження захисних властивостей, мастила і бітуму відбувалося в умовах виникнення електрохімічного руйнування металеві поверхні, який представляє собою розчинення металу в розчині середовища у вигляді гідратованих іонів (анодний процес) з водневою або кисневою деполіаризацією (катодний процес). При цьому, захисні властивості пластичних мастил і полімервмісного бітуму, які виражалися у захисту металевих поверхонь від електрохімічної корозії, визначалися за швидкістю анодного процесу. Для цього були одержані поляризаційні залежності з використанням потенціостату Р-45Х. Залежність значення потенціалу досліджуваного електрода від щільності струму використовувалась для оцінки корозійного захисту розроблених матеріалів [13, 14].

У даній роботі, отримання поляризаційних залежностей відбувалося у лабораторних умовах, з використанням потенціостату Р-45Х. електрична схема підключення потенціостату до досліджуваних зразків, наведено на рис. 4.

Згідно схеми (див. рис. 4), у електрохімічному гнізді розміщали робочий електрод (РЕ) – металеву пластину з нанесеним на неї шаром досліджуваним мастилом, хлорсрібний (насичений) електрод порівняння (ЕП) і платиновий допоміжний електрод (ДЕ).

Вимірювання потенціалу пластини (РЕ) з нанесеним на неї мастилом здійснювалося відносно ЕП. Зміна струму в запропонованій схемі, фіксувалась потенціостатом.

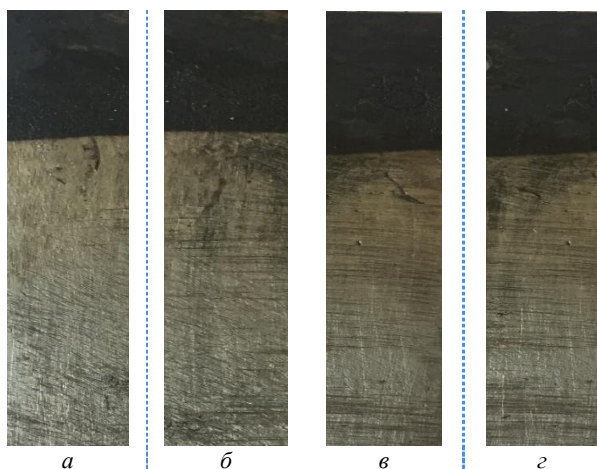


Рисунок 2 – Знімки пластин захищених мастилами, що отримані з ПНТ (а), ПВТ (б), ПП (в) та ПС (г), після перебування у 3 % Na_2SO_3

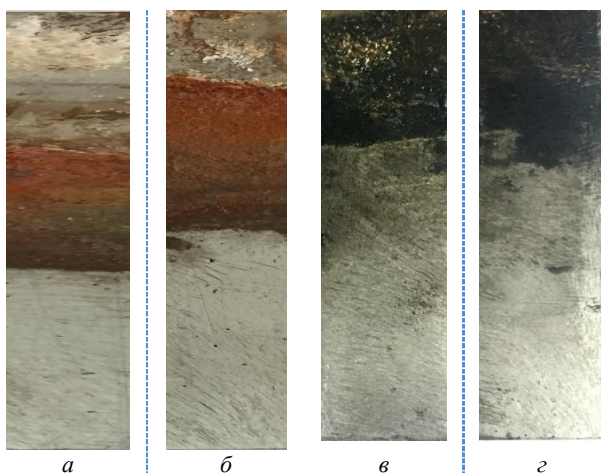


Рисунок 3 – Знімки пластин захищених полімервмісним бітумом, з ПП (а), ППС (б), після перебування у 10% NaCl та з ПП (в), ППС (г), після перебування у 3% Na_2SO_3

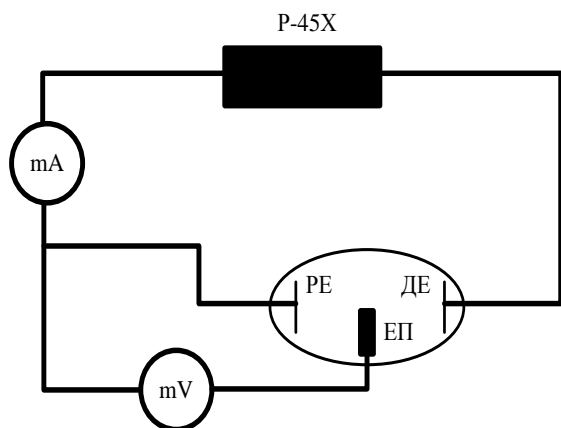


Рисунок 4 – Схема лабораторної установки, що застосовувалася для потенціостатичних вимірювань

Для визначення захисних властивостей, використовувалися робочі електроди зі вуглецевої сталі марки Ст3 ($S_{\text{сл.}}=0,14 \text{ cm}^2$). Неробоча поверхня РЕ ізолювана шаром епоксидної смоли ЕД-5 з затверджувачем поліетиленполіамін (див. рис. 5). шар (товщина шару 0,1 мм) досліджуваних нафтопродуктів був нанесений на робочу ділянку РЕ.

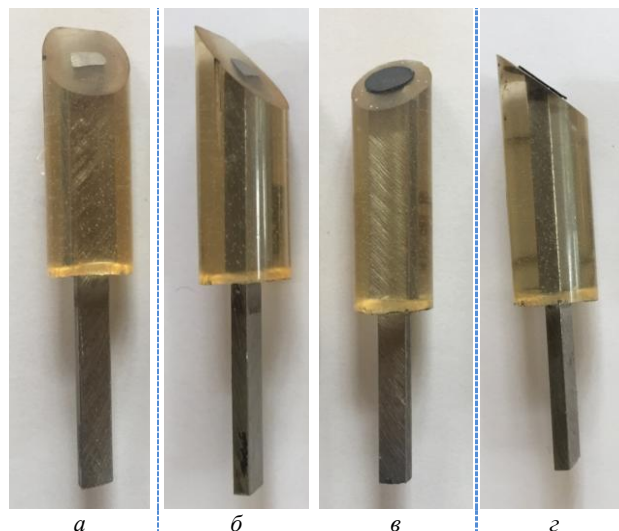


Рисунок 5 – Знімок зовнішнього вигляду робочих електродів: а - чистий робочий електрод; б, в, г – робочий електрод з нафтопродуктом

Безпосередньо перед нанесенням покриттів одержаними мастилами та полімервмісними бітумами електроди зачищали шліфувальною шкуркою до шорсткості із середнім арифметичним відхиленням профілю (R_a) від 0,63 до 1,25 μm по ГОСТ 2789 (шкурку використовують один раз), потім промивали дистильованою водою і висушували фільтрувальним папером.

Гальванодинамічний режим досліджень виявився не ефективним для досліджуваних захисних покриттів, через великий омичний опір цих покриттів і їх вододобність. Тому вольт-амперні дослідження проводили в потенціодинамічному режимі. Розгортку потенціалу проводили від $-2,0 \text{ V}$ (потенціали виділення водню) до $+2,0 \text{ V}$ (потенціали не тільки виділення кисню, а й утворення пероксисполук на поверхні досліджуваних зразків).

Результати проведених досліджень у 0,5 М розчині NaCl , з використанням потенціостату Р-45Х, представлені на рис. 6.

Проведені дослідження показали, що у дослідженому діапазоні значень потенціалів, на незахищеній металевій пластині, відбувається виділення водню при потенціалах, що перевищують $-0,70 \text{ V}$, та виділення кисню при потенціалах, що перевищують $+0,85 \text{ V}$. На зразках, захищених шаром з досліджуваних мастил та бітумів зростання струму не зафіксовано, що свідчить про високі захисні властивості досліджуваних нафтопродуктів через їх надійну ізоляцію металу основи від контакту з електролітом. Далі, були проведені тривалі вимірювання значення струму на робочому електроді з нанесеним на нього шаром наф-

топродуктів, при постійному потенціалі у +2,5 В, протягом 30 діб (див. рис. 7). Незначний катодний струм пов'язаний з процесами полімеризації на межі розділу метал – покриття. Після процесів полімеризації збільшувалось зчеплення захисного шару з металевою основою, що було зафіксовано при видаленні захисного шару, при закінченні досліджень, для візуально-огляду поверхні металевих зразків.

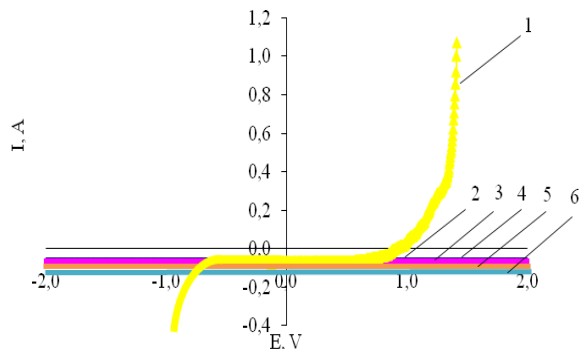


Рисунок 6 – Поляризаційні залежності:

1 – чиста металева пластина; 2 – мастило з ПП; 3 – мастило з ПНТ(ПВТ); 4 – мастило з ПС; 5 – бітум з ПП; 6 – бітум з ППС

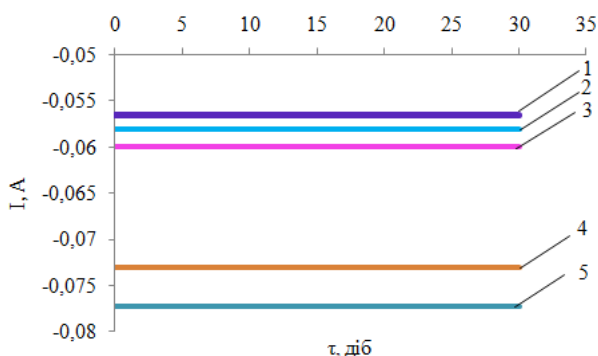


Рисунок 7 – Залежності щільності струму від тривалості випробування: 1 – мастило з ПП; 2 – мастило з ПНТ(ПВТ); 3 – мастило з ПС; 4 – бітум з ПП; 5 – бітум з ППС

Аналізуючи отримані результати досліджень встановлено, що склад захисного покриття впливає на струм полімеризації. Незалежно від типу полімеру, в досліджуваних умовах протягом 30 діб, щільність струму практично не змінює свого значення. Отже, і пластичні мастила і полімервмісні бітуми, які отримані з вторинної сировини, ефективно захищають металеву поверхню від електрохімічного руйнування.

Висновки. Одержані пластичні мастила, і бітуми, які отримані з використанням вторинної сировини, показали високі антикорозійні властивості при захисті досліджуваних зразків Ст 3 у водних розчинах 10 % NaCl і 3 % Na₂SO₃ в широкому діапазоні анодних і катодних потенціалів (-2,0...+2,0 В).

Розроблена технологія термічної деструкції полімерних відходів, з поліетилену високого та низького тиску (ПВТ, ПНТ), поліпропілену (ПП) і полістиролу (ПС) дозволяє ефективно використовувати вторинну

сировину для отримання пластичних мастил та бітумних в'язучих.

Проведені дослідження показали, що і пластичні мастила, і бітуми, які отримані з використанням вторинної сировини, незалежно від типу полімеру володіють високими захисними властивостями, металевої поверхні вуглецевої сталі. Тобто, вони здатні запобігти впливу атмосферної корозії, який досліджувався з використанням імітаційних випробувань у водних розчинах 10 % NaCl і 3 % Na₂SO₃ та електрохімічної корозії, що досліджувалася по поляризаційним залежностям, отриманим з використанням потенціостату Р-45Х.

Список літератури

1. Снижение экологической опасности отработанных масел путем их переработки и утилизации / [В.И. Вигдарович, М.Ч. Залиханов, В.В. Остриков и др.]. – Тамбов, 2012. – 164 с.
2. Boughton V. Environmental assessment of used oil management methods / V. Boughton, A. Horvath // Environmental science & technology. – 2004. – №38(2). – P.353-358. – DOI: <https://doi.org/10.1021/es034236p>.
3. Ибатулин Р.Р. Исследование свойств нефтешламов и способы их утилизации / Р.Р. Ибатулин, И.И. Мутин, М.Н. Исхакова, К.Г. Сахабудинов // Нефтяное хозяйство. – 2006. – № 11. – С. 116–118.
4. Hegazi S.E.F. Conversion of used Oil into Lubricating Grease and Characteristics Evaluation / S.E.F. Hegazi // International Journal of Science and Research (IJSR). – 2015. – Volume 4. – Issue 4. – P. 1894–1898. – ISSN (Online): 2319-7064, <https://pdfs.semanticscholar.org/d2aa/95cae08bf6f60244c27e0ca561d2d33693e.pdf>.
5. Dixena R. Recycled and Virgin HDPEs as Bleed Inhibitors and Their Rheological Influences on Lubricating Greases Thickened with PP and mPP / R. Dixena, E. Sayanna, R. Badoni // Lubricants. – 2014. – №2. – P. 237-248. – DOI: <https://doi:10.3390/lubricants2040237>.
6. Grigorov A. Technology of recycling waste lubricant greases [electronic resource] / A. Grigorov, I.Nahliuk, O. Zelenskii, N. Ponomarenko // Petroleum & Coal journal. – 2019. – Volume 61. – Issue 4. – P. 677-681. – Access mode: https://www.vurup.sk/wp-content/uploads/2019/06/PC-X-2019_Zelenskii_42_rev1.pdf.
7. Mardupenko A. Technology of modified bitumen production for the road construction [electronic resource] / A. Mardupenko, A. Grigorov, I. Sinkevich, A. Tulskaia // Petroleum & Coal journal. – 2019. – Volume 61. – Issue 4. – P. 672-676. – Access mode: https://www.vurup.sk/wp-content/uploads/2019/06/PC-X-2019_Tulskaia_43_rev1.pdf.
8. Asare P.N.A. Evaluation of incorporating plastic wastes into asphalt materials for road construction in Ghana / P.N.A. Asare, F.A. Kuranchie, E.A. Ofori, F. Verones // Cogent Environmental Science. – 2019. – № 5(1). – DOI: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311843.2019.1576373>.
9. Utilization of waste plastic in asphaltting of roads [electronic resource] / [A. Gawande, G.S. Zamre, V.C. Renge etc.] // Sci. Revs. Chem. Commun. – 2012. – № 2(2). – P. 147-157. – Access mod: <https://www.tsijournals.com/articles/utilization-of-waste-plastic-in-asphaltting-of-roads.pdf>.
10. Kusmierek, E. Atmospheric corrosion of metals in industrial city environment / E. Kusmierek, E. Chrzeszcijska // Free PMC Article. – 2015. – № 3. – P. 149-154. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2015.02.017>
11. Семенова И.Л. Коррозия и защита от коррозии / И.Л. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов. – М.: Физматлит, 2010. – 416 с.
12. Методи захисту обладнання від корозії та захист на стадії проектування [Електронний ресурс] / М.В. Бик, О.І. Букет, Г.С. Васильев – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 318 с. – Режим доступу : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/23891> – (Дата звернення 25.06.2018 р.). – Назва з екрана.
13. Кислова О. В. Основи електрохімії / О. В. Кислова, І. С. Макеев

ва.– К. : КНУТД, 2017. – 128 с.

14. Дамаскин Б.Б. Электрохимия / Б.Б.Дамаскин, О.А.Петрий, Г.А.Цирлина. – [2е изд., испр. и перераб.] - М.: Химия, КолосС, 2006. – 672 с.

References (transliterated)

1. Snizheniye ekologicheskoy opasnosti otrabotannykh masel putem ikh pererabotki i utilizatsii / [V.I. Vigdarovich, M.CH. Zalikhanov, V.V. Ostrikov i dr.]. – Tambov, 2012. – 164 p.
2. Boughton B. Environmental assessment of used oil management methods / B. Boughton, A. Horvath // Environmental science & technology. – 2004. – №38(2). – P.353-358. – DOI: <https://doi.org/10.1021/es034236p>.
3. Ibatulin R.R. Issledovaniye svoystv nefteshlamov i sposoby ikh utilizatsii / R.R. Ibatulin, I.I. Mutin, M.N. Iskhakova, K.G. Sakhabutdinov // Neftyanoye khozyaystvo. – 2006. – № 11. – S. 116–118.
4. Hegazi S.E.F. Conversion of used Oil into Lubricating Grease and Characteristics Evaluation / S.E.F. Hegazi // International Journal of Science and Research (IJSR). – 2015. – Volume 4. – Issue 4. – P. 1894-1898. – <https://pdfs.semanticscholar.org/d2aa/95caeb08bf6f60244c27e0ca561d2d33693e.pdf>.
5. Dixena R. Recycled and Virgin HDPEs as Bleed Inhibitors and Their Rheological Influences on Lubricating Greases Thickened with PP and mPP / R. Dixena, E. Sayanna, R. Badoni // Lubricants. – 2014. – №2. – P. 237-248. – DOI: <https://doi.org/10.3390/lubricants2040237>.
6. Grigorov A. Technology of recycling waste lubricant greases [electronic resource] / A. Grigorov, I.Nahliuk, O. Zelenskii, N. Ponomarenko // Petroleum & Coal journal. – 2019. – Volume 61. – Issue 4. – P. 677-681. – Access mode: https://www.vurup.sk/wp-content/uploads/2019/06/PC-X-2019_Zelenskii_42_rev1.pdf.
7. Mardupenko A. Technology of modified bitumen production for the road construction [electronic resource] / A. Mardupenko, A. Grigorov, I. Sinkevich, A. Tulskaia, // Petroleum & Coal journal. – 2019. – Volume 61. – Issue 4. – P 672-676. – Access mode: https://www.vurup.sk/wp-content/uploads/2019/06/PC-X-2019_Tulskaia_43_rev1.pdf.
8. Asare P.N.A. Evaluation of incorporating plastic wastes into asphalt materials for road construction in Ghana / P.N.A. Asare, F.A. Kuranchie, E.A. Ofosu, F. Verones // Cogent Environmental Science. – 2019. – № 5(1). – DOI: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311843.2019.1576373>.
9. Utilization of waste plastic in asphaltting of roads [electronic resource] / [A. Gawande, G.S. Zamre, V.C. Renge etc.]// Sci. Revs. Chem. Commun. – 2012. – № 2(2). – P. 147-157. – Access mode: <https://www.tsijournals.com/articles/utilization-of-waste-plastic-in-asphaltting-of-roads.pdf>.
10. Kusmierek, E. Atmospheric corrosion of metals in industrial city environment / E. Kusmierek, E. Chrzescijanska // Free PMC Article. – 2015. – № 3. – P. 149-154. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2015.02.017>
11. Semenova I.L. Korroziya i zashchita ot korrozii / I.L. Semenova, G.M. Florianovich, A.V. Khoroshilov. - M.: Fizmatlit, 2010. – 416 p.
12. Metody zakhystu obladnannya vid korozii ta zakhyst na stadiji proektuvannya [Elektronnyy resurs] / M.V. Byk, O.I. Buket, H.S. Vasylyev – Kyiv : KPI im. Ihorya Sikorskoho, 2018. – 318 p. – Rezhym dostupu : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/23891> – (Data zvernennya 25.06.2018 r.). – Nazva z ekrana.
13. Kyslova O. V. Osnovy elektrokhimii / O. V. Kyslova, I. S. Makheyeva.– К. : КНУТД, 2017. – 128 p.
14. Damaskin B.B. Elektrokhiimiya / B.B.Damaskin, O.A.Petriy, G.A.Tsirlina. - [2e izd., ispr. i pererab.] - M.: Khimiya, KolosS, 2006. – 672 p.

Надійшла (received) 16.03.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Григоров Андрій Борисович, (Grigorov Andriy Borysovych) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри технологія переробки нафти, газу та твердого палива; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5370-7016>; e-mail: grigorovandrey@ukr.net.

Мардупенко Олексій Олександрович (Mardupenko Aleksey Aleksandrovich, Mardupenko Oleksii Oleksandrovych) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3187-6913>; e-mail: alekseym93@ukr.net.

Сінкевич Ірина Валеріївна (Sinkevich Irina Valeriivna) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри технологія переробки нафти, газу та твердого палива; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6089-0266>; e-mail: ivsaam@gmail.com.

Шевченко Кирил Володимирович (Shevchenko Kyryl Volodymyrovych) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4819-4663>; e-mail: drekstar2007@gmail.com.