

ПРИРОДА КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНАШИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВОЙ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Юрий Сухенко¹, Александр Дзюб², Владислав Сухенко¹, Валерий Мануилов³

¹*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, Киев, ул. Героев Оборонь, 15*

²*Национальный университет пищевых технологий
Украина, Киев, ул. Владимирская, 68*

³*Керченский государственный морской технологический университет
Украина, АР Крым, Керчь, ул. Орджоникидзе, 82*

Juriy Sukhenko¹, Aleksandr Dzub², Vladyslav Sukhenko¹, Valeriy Manuilov³

¹*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

²*National University of Food Technologies*

Str. Vladimirskaia, 15, Kiev, Ukraine

³*Kerch State Maritime Technological University*

Str. Ordzhonikidze, 82. Kerch, Ukraine

Аннотация. Показано влияние пищевых технологических сред – электролитов на коррозионно-механическое изнашивание деталей оборудования и намечены способы защиты от изнашивания.

Ключевые слова: пищевые среды-электролиты, трение, коррозия, износ, защита.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Определить роль электродного потенциала в процессах трения и изнашивания материалов и показана возможность управления процессами деформирования и разрушения металлов при помощи поляризации фрикционных систем.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В условиях пищевых производств трение и изнашивание деталей оборудования в большинстве случаев происходит в технологических жидкостях с различной вязкостью, многие из которых коррозионно- и поверхностно-активные [1-8]. Известно, что повышение надежности оборудования основано на обеспечении некоторых условий и способов на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации. Учитывая, что на современном высоком уровне проектирования и прочностных расчетов вероятность внезапных отказов незначительна и они, в большинстве случаев,

проявляются и исключаются во время наладки оборудования, износостойкость деталей оборудования является определяющим фактором в решении проблем его надежности и долговечности [9]. Поэтому способам борьбы с изнашиванием отводится особое внимание на всех этапах существования изделий.

Разнообразие составов и свойств технологических сред пищевых производств усложняет изучение изнашивания деталей оборудования и разработку общих рекомендаций для повышения его долговечности. Коррозионно-механическому изнашиванию подвержено большинство деталей оборудования отрасли и, поэтому, исследование его природы является актуальной проблемой.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Раскрыть сущность коррозионно-механического изнашивания, как ведущего вида изнашивания пищевого и перерабатывающего оборудования, и предложить способы повышения долговечности его деталей и узлов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При трении в коррозионно-активных пищевых средах с кислотой, нейтральной и щелочной реакцией поверхность металла должна обладать не только высокой износостойкостью, но и максимально возможной коррози-

ПРИРОДА КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНАШИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВОЙ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

онной стойкостью. Трудность решения такой задачи связана прежде всего с отсутствием теории этого процесса. Во многих работах до сих пор господствует упрощенное представление о коррозионно-механическом изнашивании как о процессе образования пленок продуктов коррозии и их периодическом срыве в результате механического воздействия. Не менее важным также является вопрос о роли механического и коррозионного факторов и об их взаимном влиянии друг на друга, от решения которого зависит выбор конкретных материалов и методов борьбы с коррозионно-механическим изнашиванием.

Коррозия при трении имеет характер контактной коррозии, ибо трущаяся пара обычно состоит из разнородных металлов и представляет собой макрогальванический элемент. Вследствие дискретности контакта между металлами всегда имеются зазоры, что придает коррозии при трении черты щелевой коррозии. Существенную роль играют электрохимическая гетерогенность поверхности и импульсный характер процесса трения. Многократно повторяющиеся механические воздействия на фиксированный объем материала в приповерхностном слое приводят к его усталостному разрушению. На основе известной усталостной теории изнашивания [8, 9], а также с учетом электрохимических процессов уста-

лотно-электрохимический механизм коррозионно-механического изнашивания в пищевой среде – электролите может быть представлен следующим образом (рис. 1).

При трении разнородных металлов в коррозионно-активных средах возникает коррозионный макроэлемент, характеризуемый определенной величиной потенциала трения $\varphi_{тр}$ [10,11]. Импульсный характер трения способствует появлению колебаний $\varphi_{тр}$, частота и амплитуда которых зависят от условий трения (давления, скорости, шероховатости поверхностей и др.). Первичный акт взаимодействия среды и металла – адсорбция – протекает под контролем установившегося электродного потенциала φ , а локализованная адсорбция поверхностно-активных веществ (ПАВ) определяется также и его колебаниями $\Delta \varphi$. Адсорбция, в соответствии с законами физико-химической механики материалов, способствует уменьшению поверхностной энергии тел.

Поверхностная энергия может существенно изменяться в результате прямого влияния потенциала φ и его колебаний. Затем происходит снижение поверхностных барьеров, тормозящих движение дислокаций, облегчая их выход на поверхность.

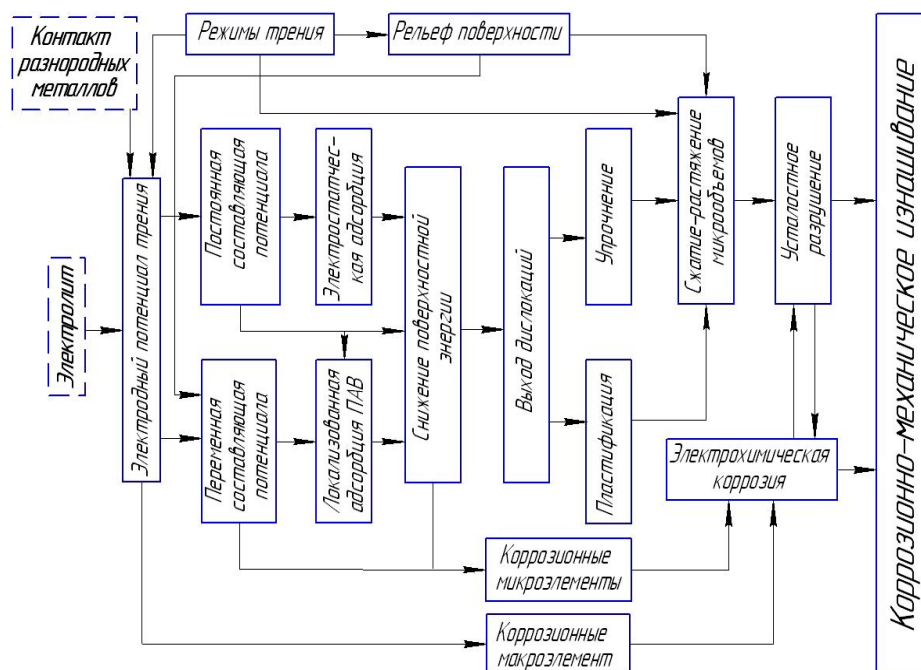


Рис. 1. Структурная схема усталостно-электрохимического механизма коррозионно-механического изнашивания

Fig. 1. Block diagram of the electrochemical mechanism of fatigue-fretting

Возникающие микроэлементы, согласно гетерогенно-электрохимической теории коррозии, начинают активно растворяться. Растворение ионов металла на наиболее «слабых» участках поверхности способствует облегчению усталостного разрушения в этих местах. Таким образом, коррозионно-механическое изнашивание не может рассматриваться как простое суммирование механического и электрохимического факторов, а является сложным процессом, в котором электрохимическое растворение служит своеобразным катализатором усталостного разрушения. В свою очередь трение активирует протекание электрохимической коррозии. Во всех этих процессах существенную роль играет потенциал φ системы [12].

Проанализируем возможные случаи контактной коррозии при трении с помощью схематичной коррозионной поляризационной диаграммы (рис. 2). Точка 1 пересечения кривых K_1 и A_1 отвечает току саморастворения в контактной коррозии [13]. При трении происходят сдвиг потенциала анода в точку $\varphi_{A_{тр}}$ и изменение характера поляризационной кривой. Если анод сохраняет склонность к пассивации, то анодная кривая имеет вид, подобный кривой A_2 . Однако чаще анод при трении находится в активном состоянии и поляризационная кривая имеет вид, подобный кривой A_3 . При неизменном катодном процессе ток саморастворения при трении возрастает (переход от точки 1 к точке 4). Если же трение повышает эффективность катода (кривые K_2 и K_3), то коррозионный ток пары сильно растет (точки 5 и 6). В случае, когда пассивность при трении сохраняется, коррозия увеличивается незначительно (ср. точки 3 и 7) и практически не зависит от катодного процесса (точки 7, 8). Если же пассивность при трении нарушается, то происходит максимальный рост тока саморастворения (точки 3 и 6).

Коррозионный ток будет тем больше, чем выше начальная разность потенциалов φ , чем меньше поляризуемость электродов и омическое сопротивление и чем больше площадь катода. При коррозионно-механическом изнашивании большую роль играет свободная поверхность, которая чаще всего и является катодом. Очень хорошо влияние свободной поверхности на интенсивность изнашивания ползуна U_2 и направляющей U_1 при трении в

морской воде представлено в работе [5]. Показано, что увеличение отношения их площадей F_2 / F_1 от 0 до 8 способствовало примерно трехкратному росту U_1 , в то же время интенсивность U_2 повысилась лишь на 18%. Увеличение свободной поверхности F_2 , т.е. макрокатода, повышает скорость коррозии направляющей, протекавшей весьма интенсивно, так как продукты коррозии непрерывно разрушались и удалялись поступательно движущимся ползуном. В то же время ползун корродировал в меньшей степени из-за плохого доступа среды в зазор между элементами пары трения. Авторы работы [14] установили, что коррозионный фактор определяет интенсивность износа только при малых давлениях.

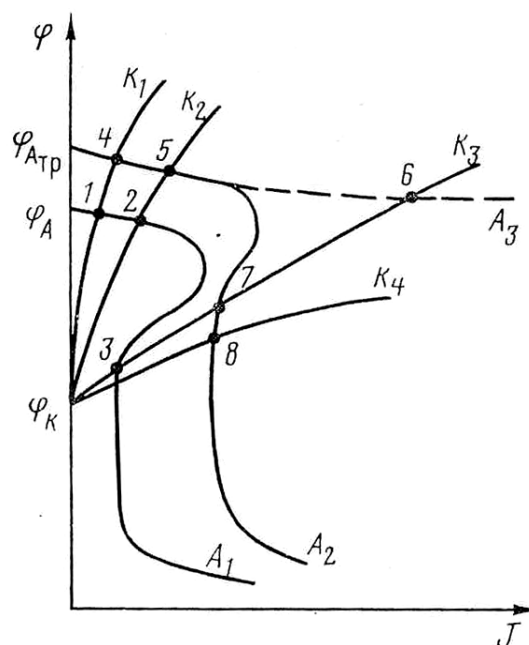


Рис. 2. Коррозионная диаграмма при трении металлов:

K_2, K_3, K_4, A_2, A_3 - катодные и анодные поляризационные кривые при трении; 1 – 8 – точки пересечения соответствующих катодных и анодных кривых

Fig. 2. Corrosion diagram at friction of a metal:

Скорость коррозии при трении зависит от величины коэффициента $K_{вз}$, который может изменяться в пределах от 0 до 1 (рис. 3). От величины $K_{вз}$ зависит соотношение анодных и катодных участков. Если рассматривать пару трения как коррозионный макроэлемент, то один из компонентов будет анодом с потенциалом φ_A , второй – катодом с потенциалом φ_K , а в зоне трения устанавливается потенциал трения $\varphi_{тр}$ (рис. 3). В зависимости от его знака и

величины поверхности трения компонент может быть анодом или катодом, что определяет протекание процессов активизации или пассивации на фрикционном контакте. В принципе возможны варианты: 1) свободная поверхность и поверхность трения находятся в активном состоянии; 2) свободная поверхность в пассивном (катод), поверхность трения в активном (анод) состоянии; 3) наоборот, свободная поверхность в активном, а поверхность трения в пассивном состоянии; 4) обе поверхности в пассивном состоянии. Последние два случая возможны, если трение инициирует процессы пассивации (трибохимические реакции, например, трибополимеризация и др.). Максимальной скоростью коррозии будет во втором случае, когда реализуется ситуация, представленная на диаграмме точкой 6 (см. рис. 2), причем здесь эффект трибокоррозии будет тем больше, чем меньше $K_{вз}$.

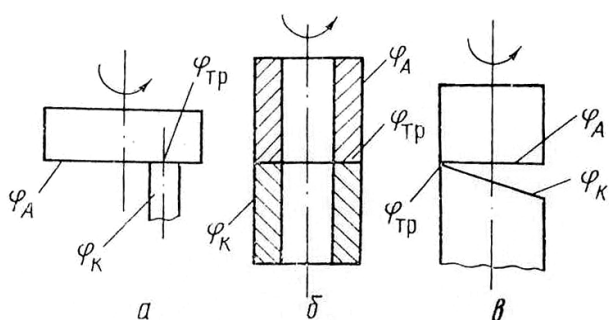


Рис. 3. Схемы торцового трения с различными $K_{вз}$: *а* – $K_{вз} < 0,5$;

б – $K_{вз} \rightarrow 1$; *в* – макроприработка

Fig. 3. Schemes mechanical friction with various $K_{вз}$

При $K_{вз} \rightarrow 1$ затрудняется доступ среды во фрикционный зазор; при $K_{вз} \rightarrow 0$ поверхность, активированная трением, выходя из зоны трения, мгновенно омывается значительным количеством технологической среды – электролита, что повышает скорость коррозии. Существенную роль при коррозионно-механическом изнашивании играют процессы макро- и микроприработки. При микроприработке (рис. 3, *в*) $K_{вз}$ изменяется от 0 до 1. С ростом $K_{вз}$ площадь катода уменьшается, доступ среды затрудняется и скорость коррозии замедляется. При микроприработке устанавливается так называемая равновесная шероховатость поверхности [15]. При этом увеличи-

вается площадь фактического контакта, которая составляет не более 0,01-0,1 номинальной площади. Отсюда ясно, что соотношение анодных (зона контакта микронеровностей) и катодных участков практически остается постоянным, т.е. при микроприработке $K_{вз}$ не играет такой значительной роли, как при макроприработке. Протекание коррозии при формировании равновесной шероховатости в большей степени определяется частотой и амплитудой колебаний потенциала ϕ . Равновесная шероховатость с этой точки зрения – это такая шероховатость, которая обеспечивает колебание ϕ , способствующее протеканию избирательной адсорбции определенных компонентов технологической среды, ингибирующих коррозионные процессы при трении.

Анализ приведенных схем показывает, что общепринятая точка зрения об обязательном резком увеличении скорости коррозии при трении не всегда выполняется. И возможны такие ситуации (упомянутые выше случаи 3, 4), когда коррозия будет снижаться. Именно к этому необходимо стремиться при разработке методов борьбы с коррозионно-механическим изнашиванием оборудования пищевых и перерабатывающих предприятий.

В области исследования электрохимических процессов при трении металлов можно выделить два взаимосвязанных направления: использование электрохимических параметров для получения информации о контактных процессах; попытка управления трением и изнашиванием материалов с помощью электрохимических методов. Второе направление – активное вмешательство в ход электрохимических процессов на фрикционном контакте – получило значительно меньшее развитие, чем первое, хотя представляется достаточно перспективным. Рассмотрим некоторые методы такого вмешательства, разрабатываемые в настоящее время.

Поляризация фрикционной системы от внешнего источника. Метод заключается в том, что потенциал ϕ системы с помощью внешнего источника поляризации (поляризатора) сдвигается в оптимальную для протекания процесса трения и изнашивания область и поддерживается на заданном уровне во время работы пары трения [16]. Для реализации метода необходимо проведение исследований по

выявлению оптимальных потенциалов ϕ для различных условий работы пар трения, а также создание удобных и компактных поляризаторов. Поляризация фрикционной системы преследует различные цели: снизить поверхностную энергию, улучшить смачиваемость и адсорбцию компонентов среды и др. Частными случаями этого метода является анодная и катодная защита. Последняя нашла ограниченное применение предохранения от коррозии оборудования для пищевых и перерабатывающих производств.

Следует отметить, что поляризация с помощью вспомогательного третьего электрода может быть с успехом использована и тогда, когда один из элементов пары трения является не электропроводным (при трении пар пластика-металл, при использовании минералокерамики, при абразивной обработке сырья).

Протекторная защита. При коррозионно-механическом изнашивании для подавления коррозии в качестве защитных протекторов можно применять такие металлы, как цинк, магний, алюминий и их сплавы. Примером успешного применения протекторной защиты при трении могут служить результаты опытов, приведенные в работе [18], которые показали, что при установке цинкового протектора износ образцов при трении в нейтральном солевом растворе уменьшился в 6-9 раз по сравнению с износом без протектора.

Оптимальные соотношение площадей трущейся и свободной поверхностей. В работе [14] была показана роль свободной поверхности при коррозионно-механическом изнашивании, которая часто является эффективным катодом. А в работе [19] показано, что при трении стали по керамике с увеличением площади нетрущейся поверхности металла растет скорость коррозионно-механического изнашивания на дорожке трения.

Сдвиг потенциала ϕ с помощью специальных добавок в электролит. В тех случаях, когда это допускается, можно регулировать смазочное действие среды путем сдвига потенциала ϕ в оптимальную область с помощью различных добавок в технологическую электропроводную среду.

Применение ингибиторов коррозии. Этот метод по своей идее близок к предыдущему, но цель его более узкая: замедлить коррозию при коррозионно-механическом изнашивании

с помощью ввода в среду специальных поверхностно-активных веществ. Известны примеры успешного применения ингибиторов коррозии при трении [17, 20]. Однако следует отметить, что так как большинство ингибиторов коррозии разработано для уменьшения скорости коррозии, многие из них не обладают хорошими смазочными свойствами, а в некоторых случаях резко ухудшают антифрикционные свойства. Так, например, один из распространенных ингибиторов – нитрит натрия – ухудшает смазочные свойства сред – электролитов, увеличивая интенсивность изнашивания [14, 20, 21] и коэффициент трения. Повидимому, в случае коррозионно-механического изнашивания необходимо говорить о создании веществ – «ингибиторов изнашивания», обладающих хорошими как антифрикционными, так и антикоррозионными свойствами.

ВЫВОДЫ

Подводя итоги, укажем основные задачи, которые, по нашему мнению, следует решить при исследовании электрохимических явлений, протекающих при трении изнашивании металлов в технологических средах пищевых и перерабатывающих производств:

1. Раскрытие физической природы влияния электродных потенциалов на процессы трения и изнашивания металлов в пищевых технологических средах – электролитах.

2. Широкое использование и стандартизация потенциостатического метода исследования процесса трения металлов в средах электролитах.

3. Разработка методики выбора материалов для пар трения, работающих в условиях коррозионно-механического изнашивания с использованием электрохимических методов определения скорости коррозии при трении.

Разработка электрохимических методов управления процессами трения и изнашивания, которые могли бы быть использованы в пищевой и перерабатывающей промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Prejs G.A. 1979: Povyshenie iznosostojkosti oborudovanija pishhevoj promyshlennosti:

ПРИРОДА КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНАШИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ
ПИЩЕВОЙ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

- Monografija / G.A. Prejs, N.A. Sologub, A.I. Nekož. – M.: Mashinostroenie. – 208.
2. Suhenko J.G. 1993: Tehnologichni metodi zabezpečennja dovgovichnosti obladnannja harchovoi promislovosti: Monografija / J.G. Suhenko, O.I. Nekož, M.S. Stechishin. – K.: Eleron. – 108.
3. Suprunchuk V.K. 1984: Konstrukcionnye materialy i pokrytija v prodovol'stvennom mashinostroenii: Spravochnik / V.K. Suprunchuk, J.V. Ostrovskij. – M.: Mashinostroenie. – 328.
4. Novickij A.E. 1980: Issledovanie iznashivaniya materialov v tehnologicheskikh sredah molochnoj promyshlennosti / A.E. Novickij, G.A. Prejs, J.D. Lysenko // Problemy trenija i iznashivaniya: nauch.-tehn. sb. – Vol. 17. – K.: Tehnika. – 62–64.
5. Suhenko J.G. 1988: Iznosostojkost' gazoplamennyh pokrytij v tehnologicheskikh sredah pishhevyyh proizvodstv / J.G. Suhenko, A.I. Slyn'ko, A.I. Malygin, D.I. Gnatenko // Problemy trenija i iznashivaniya: nauch.-tehn. sb. – Vol. 34. – K.: Tehnika. – 71–75.
6. Tishhenko G.P. 1985: Povyshenie dolgovechnosti pishhevogo oborudovaniya: Monografija / G.P. Tishhenko, A.N. Trofimovich. – M.: Atomizdat. – 208.
7. Romenskij N.P. 1978: Povyshenie dolgovechnosti oborudovaniya saharnyyh zavodov: Monografija / N.P. Romenskij, G.A. Prejs, V.K. Suprunchuk. – K.: Tehnika. – 136.
8. Kragel'skij I.V. 1968: Trenie i iznos / I.V. Kragel'skij. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie. – 480.
9. Tribologija 2009: / M.V. Kindrachuk, V.F. Labunec', M.I. Pashhenko, E.V. Korbut. – K., NAU. – 576.
10. Babej J.I. 1981: Zashhita stali ot korrozionno-mehanicheskogo razrusheniya: Monografija / J.I. Babej, N.G. Soprunjuk. – K.: Tehnika. – 126.
11. Suhenko V.J. Znosostojkost' evtektichnih pokrittiv pid vplivom soljanogo rozchinu / V.J. Suhenko, J.G. Suhenko, J.I. Bojko, V.V. Manuilov // Prodovol'cha industrija APK: nauk.-prakt. zhurnal. – K.: – № 1 – 6–9.
12. Prejs G.A. 1992: Elektrohimičeskie javlenija pri trenii metallov / G.A. Prejs, A.G. Dzjub // Trenie i iznos, t.1. №92 – 217–234.
13. Zhuk N.P. 1976: Kurs teorii korrozii i zashhity metallov: Monografija / N.P. Zhuk. – M.: Metallurgija. – 472.
14. Kruman B.B. 1968: Korrozionno-mehanicheskij iznos: Monografija / B.B. Kruman, V.A. Krupicina. – M.: Mashinostroenie. – 104.
15. Kragel'skij I.V. 1977: Onovy rascheta na trenie i iznos: Monografija / I.V. Kragel'skij, M.N. Dobyčhin, V.S. Kombalov. – M.: Mashinostroenie. – 526.
16. Romenskij N.P. 1989: Povyshenie dolgovechnosti oborudovaniya pishhevoj promyshlennosti / N.P. Romenskij, N.A. Sologub, G.A. Prejs. – K.: Urozhaj. – 160.
17. Tishhenko G.P. Intensifikacija processov i zashhita oborudovaniya pishhevyyh proizvodstv: Monografija / G.P. Tishhenko, N.D. Homenko, V.J. Suhenko, P.P. Ermakov, J.G. Suhenko; pod red. professora J.G. Suhenko. – K.: DIJa. – 224.
18. Butakov B.I. 2010: Issledovanie i razrabotka tehnologii i ustrojstv dlja obkatyvanija i raskatyvanija detalej rolikami s uchetom zhestkosti sistemy stanok–instrument–detal'. / B.I. Butakov, O.V. Zubyehina // MOTROL. – Lublin. – 139–153.
19. Lazarev G.E. 1978: Projavlenie kontaktnoj korrozii pri trenii / G.E. Lazarev, V.D. Shipilov, T.L. Harlamova. V.I. Verejkin / M.: Himicheskoe i neftjanoe mashinostroenie, №5 – 28–35.
20. Suhenko J.G. 2010: Nadijnist' i dovgovichnist' ustatkuvannja harchovih i pererobnih virobničtv: Pidručnik. / J.G. Suhenko, O.A. Litvinenko, V.J. Suhenko; pid red. profesora J.G. Suhenko – Kiev: NUHT. – 547.
21. Butakov B.I. 2008: Razrabotka sposoba obkatyvanija rolikami stal'nyh detalej s cel'ju povysheniya ih kontaktnoj prochnosti. / B.I. Butakov, D.D. Marchenko // MOTROL. – Lublin. Vol. 10B. – 15–28.

**NATURE FRETTING EQUIPMENT AND
FOOD PROCESSING INDUSTRY**

Summary. Shows the effect of food processing environments – electrolytes corrosion-mechanical wear of equipment parts and outlines ways to protect against wear and tear.

Key words: food environment, electrolytes, friction, wear, polarization potential, the technique, wear resistance, corrosion.