

Триботехнічні характеристики зносо- і корозієстійких покриттів на деталях дифузійних апаратів бурякоцукрових заводів

Є.В. Чайка, аспірант, Український науково-дослідний інститут цукрової промисловості
Ю.Г. Сухенко, доктор технічних наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України

В.Ю. Сухенко, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України

В.В. Мануїлов, старший викладач, Керченський державний морський технологічний університет

Розглянуті характеристики тертя та зношування сталей і перспективних захисних покриттів для зміцнення транспортної системи дифузійних апаратів цукрових заводів.

Ключові слова: дифузійні апарати, покриття, зносостійкість, технологічне середовище, корозія.

Рассмотрены характеристики трения и износа сталей и перспективных защитных покрытий для упрочнения транспортной системы диффузионных аппаратов сахарных заводов.

Ключевые слова: диффузионные аппараты, покрытия, износостойкость, технологическая среда, коррозия.

The descriptions of friction and wear of staley and perspective sheeting are considered for strengthening of a transport system of diffusive vehicles of sugar factories.

Keywords: diffusers, coverage, durability, technological environment, corrosion.

Постановка проблеми. Дифузійний буряковий сік, отримуваний в екстракційних апаратах цукрових заводів, є багатокомпонентним розчином, що містить цукрозу і майже всі нецукри, що знаходяться у розчиненому стані, а також частину нерозчинних речовин (пектин, клітковина тощо), які дифундують у розчин при висолоджуванні бурякової стружки. До складу дифузійного соку входить велика кількість органічних кислот: щавлева, галактурова, малінова, янтарна, глутаронова і деякі інші, чим пояснюється його слабокисла реакція (рН 5,5-6) і висока корозійна активність. Транспортна система (шнек, трубовал та підшипникові вузли) витримує в ряді випадків лише один сезон цукроваріння, а тому потребує ефективного зміцнення.

Вибір зносостійких матеріалів для деталей, що працюють в агресивних середовищах,

ускладнений через відсутність єдиної методики дослідження процесу корозійно-механічного зношування (КМЗ) і неможливості порівняння результатів, отриманих різними дослідниками. Більшість з них вважають, що провідним при КМЗ є корозійний вплив середовища. Ми поділяємо цю точку зору і саме з цієї причини основна увага в даній роботі приділялася впливу середовища на електрохімічні характеристики досліджуваних матеріалів і покриттів.

При терті металів в електроді коєфіцієнт тертя і знос залежать від наявності (чи відсутності) адсорбційних або оксидних плівок, утворення яких визначає величини електродних потенціалів поверхонь тертя. Електродний потенціал, будучи інтегральною характеристикою поверхні металу, відбиває не тільки зміну відносної площі цих плівок, але також якісні

зміни електрохімічних процесів, які визначають характер виникаючих при взаємодії двох тіл контактних явищ. Вплив електрохімічних процесів на процеси тертя при КМЗ деталей обладнання цукрових заводів вивчено недостатньо.

Методика і результати досліджень. Досліджувалась корозійна стійкість плазмових захисних покриттів у модельному розчині дифузійного соку (15% цукрози, 20 г/л Na_2HPO_4 , 5 г/л лимонної кислоти). Кислотність приготовленого розчину контролювалася за допомогою універсального іонміра ЕВ-74. Буферна ємність розчину дозволяла підтримувати рН середовища в межах $\pm 0,2$ рН протягом усього експерименту.

Корозійна стійкість досліджуваних захисних плазмових покриттів (табл.1) визначалась шляхом зняття поляризаційних потенціодинамічних кривих в

Значення електрохімічних характеристик і швидкостей корозії досліджуваних покриттів

№ покриття	Марка покриття	Стационарний електродний потенціал, ϕ , В	Густина струму корозії, i_c , A/m^2	Швидкість корозії, V_k , $g/m^2 \cdot год$
1	ПТ85Ю15	-0,49	0,0275	0,0278
2	ПН55Т45	-0,39	0,0199	0,0208
3	ПР-Н70ХІ7С4Р4	-0,46	0,0513	0,0535

статиці і при перемішуванні за методикою, викладеною в роботі [1].

Корозієстійкість металів в активних рідких середовищах визначається не тільки їх природою і структурою, а й електрохімічними властивостями середовища. У зв'язку з цим, стан металевої поверхні, процеси утворення та руйнування на ній плівок вторинних структур, прийнято характеризувати величиною її електродного потенціалу ϕ [2].

Дослідження кінетики електродних потенціалів вибраних покриттів дозволили встановити, що значення електродного потенціалу стабілізуються через 15-40 хвилин при перемішуванні корозійного середовища і через 60-240 хвилин при зануренні у нього захищеного покриттям зразка без перемішування.

Найбільш позитивний потенціал спостерігався у покриття 2 (-390 мВ), а за ним розташовуються покриття 3 та 1 (-460 та -490 мВ відповідно). Зазначені розбіжності у величині стаціонарного електродного потенціалу $\phi_{ст}$ пояснюються насамперед відмінністю у хімічному складі досліджуваних покриттів, а також їх фізико-механічними властивостями (умови нанесення, адгезія до основи, пористість тощо).

У відповідності з механізмом дифузійної кінетики електрохімічних процесів, що реалізується з кисневою деполяризацією [1], швидкість корозії металів пропорційна концентрації розчиненого в корозійному середовищі кисню. Перемішування модельного розчину дифузійного соку сприяє збільшенню

концентрації кисню в приелектродному шарі, що призводить до збільшення швидкості корозії. Цим же пояснюється і більш швидке встановлення потенціалу $\phi_{ст}$ при збільшенні швидкості перемішування. За даними роботи [3], в інтервалі швидкостей перемішування від 0,5 до 1 м/с, спостерігається лінійна залежність швидкості корозії від швидкості перемішування до тих пір, поки буде досягнута досить висока концентрація кисню біля поверхні, після чого поверхня металу починає пасивуватися (рис.1, крива 2). Разом з тим, навіть при інтенсивному

перемішуванні, важкорозчинні сполуки дифузійного соку екранують зародки корозії, що локалізуються в порах покриття. В результаті цього швидкість корозії з часом може знизитися.

Зняття поляризаційних анодних і катодних кривих здійснювали в потенціодинамічному режимі. Аналіз отриманих кривих (рис.1, криві 1-3) показав, що характер корозійної поведінки покриттів 1 і 3 приблизно однаковий, у той час як у покриття 2 є яскраво виражена пасивна область. Порівняння струмів корозії (див. табл. 1), визначених шляхом екстраполяції тафелів

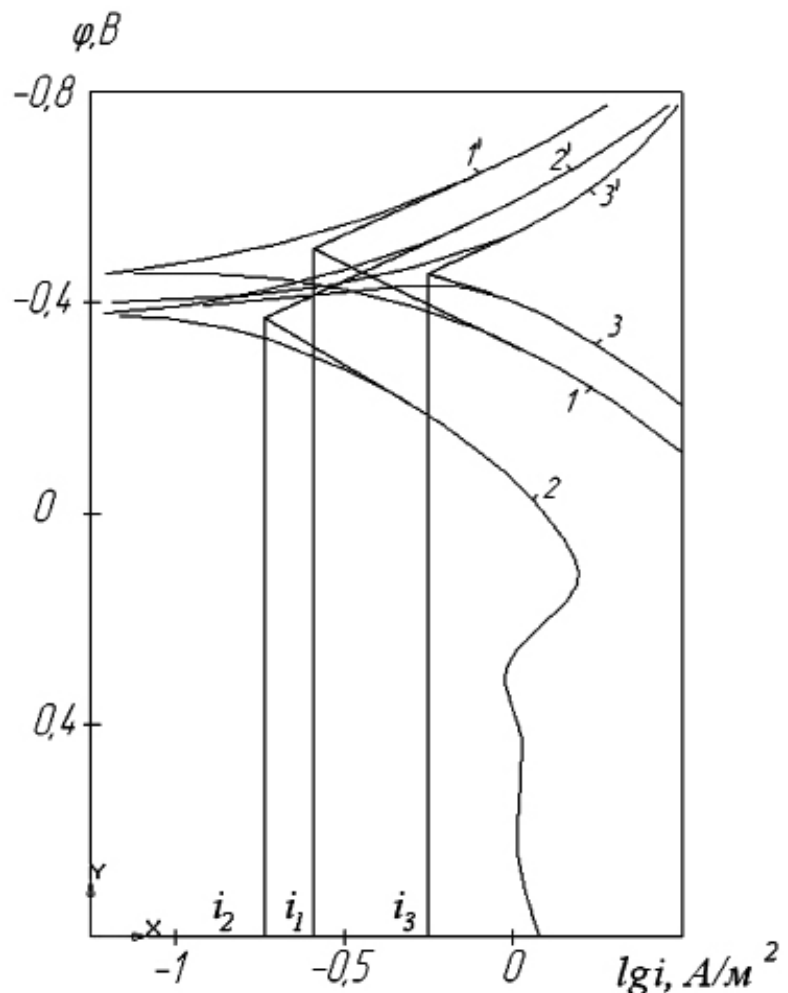


Рис. 1. Потенціодинамічні поляризаційні криві покриттів 1, 2, 3 (табл.1).

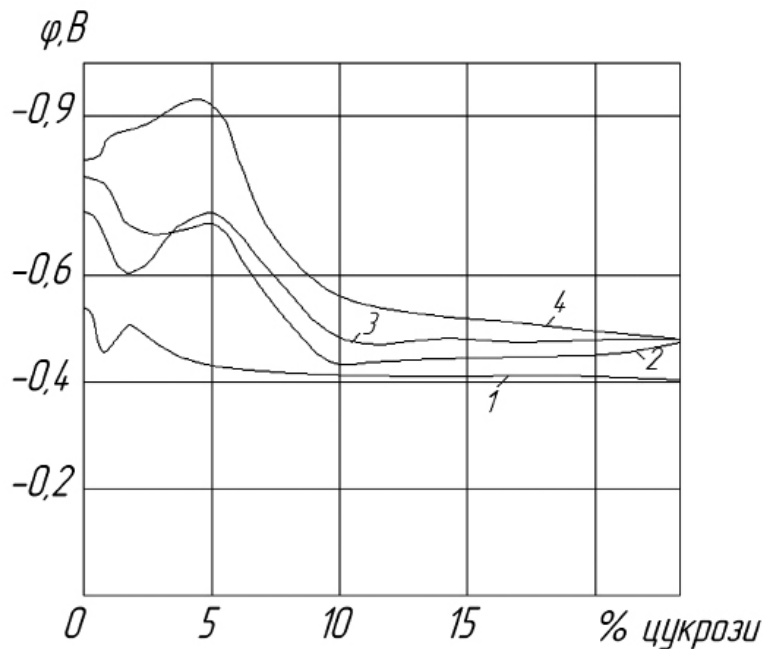


Рис. 2. Вплив концентрації цукрози на електродний потенціал ϕ сталі Ст 5 при витримці в розчинах: 1 - після занурення; 2 - після 1-ї доби витримки; 3 - після 2-х діб витримки; 4 - після 4-х діб витримки

ських ділянок поляризаційних кривих, показало, що покриття 2 характеризується мінімальною густиною струму корозії і,

також вплив температури слабокислого модельного середовища на електрохімічні властивості покриттів.

дослідження було обрано вуглецеву конструкційну сталь Ст5.

Цукроза, будучи основним компонентом дифузійного соку, може забезпечувати помітний вплив на його електрохімічні характеристики, зокрема, на кислотність, електропровідність, розчинність у ньому кисню, що в кінцевому рахунку позначається на корозійній активності середовища.

Досліджували вплив концентрації цукрози на кінетику зміни електродного потенціалу сталі (рис. 2). Аналіз кривих показує, що істотний вплив цукрози на хід потенціодинамічних кривих проявляється лише при її концентрації 20-25%. За цих умов величина електродного потенціалу стабілізується. Збільшення концентрації цукрози викликає також пасивацію поверхні досліджуваної сталі навіть за умови невеликого зміщення потенціалів в область негативних

Значення швидкості корозії V_k сталі Ст 5 після 96 годин експозиції зразків у модельному розчині дифузійного соку

Таблиця 2.

№ п/п	V_k , г/м ² . год при концентрації цукрози, %				
	0	5	10	15	20
1	0,044	0,041	0,037	0,027	0,026
2	0,047	0,039	0,036	0,022	0,024
3	0,042	0,039	0,038	0,025	0,021

відповідно, його корозійна стійкість найвища.

Відомо, що інтенсивність корозії металів істотно залежить від температури середовища. Температура є також одним з важливих чинників, що впливають на увесь комплекс експлуатаційних властивостей поверхонь тертя і визначають їх корозійні властивості. Підвищення температури досліджуваних поверхонь призводить до зменшення енергетичних витрат на процеси їх знеміцнення і руйнування.

У зв'язку з тим, що робоча температура екстрагування дифузійного соку бурякоцукрового виробництва коливається в межах від 60 до 80°C, досліджувався

Встановлено, що з підвищенням температури слабокислого модельного середовища електродний потенціал поверхонь зразків зміщувався в негативну сторону. Одночасне збільшення струмів корозії свідчило про зростання швидкості корозії. Характерно, що вже при 40°C на анодній поляризаційній кривій покриття 2 була відсутня пасивна область (див. рис.1, крива 2).

Враховуючи, що дифузійний сік є багатокомпонентним корозійно-активним реагентом, певний інтерес представляє вивчення впливу концентрації цукрози на корозійну стійкість сталей. Враховуючи підвищену корозійну стійкість досліджуваних покриттів, в якості об'єкта

значень. Порівняння значень швидкостей корозії сталі Ст 5 (табл.2), визначених методом відкритої склянки [4] за трьома зразками, показало, що з плином часу відбувається зменшення швидкостей корозії зразків, очевидно, обумовлене зменшенням вмісту кисню в розчині, що є основним деполіаризатором катодного процесу.

Для визначення впливу концентрації цукрози на електропровідність розчину використовували цукрозу кваліфікації Ч.Д.А. В результаті проведених експериментів було встановлено, що збільшення концентрації цукрози знижує питому електропровідність розчину, причому максимальна електропровід

ТЕХНІКА & ТЕХНОЛОГІЇ

ність спостерігалася за концентрації близької до 20%. Очевидно, максимальна електропровідність розчинів, що містять цукрозу, може коливатися в широкому інтервалі концентрацій розчинів і залежить також від наявності в них інших органічних домішок. Рівень чистоти розчину безпосередньо впливає і на його в'язкість.

Аналізуючи викладене, можна зробити висновок, що на швидкість корозії сталі в дифузійному соку впливає комплекс чинників: питома електропровідність розчину, наявність розчиненого кисню та якість очищення від домішок. Збільшення в'язкості розчинів гальмує розвиток корозійних процесів.

Встановлено, що через 96 год. експозиції у модельному розчині дифузійного соку (див. **табл. 2**) поверхня зразків покривається шаром продуктів корозії сіро-зеленого кольору, які мають досить сильну екрануючу дію і перешкоджають подальшому розвитку корозійних процесів. Плівка на поверхні розчиняється соляною кислотою і за складом є фосфорнокислим залізом. На екрануючі властивості утвореної плівки вказує те, що при періодичному видаленні її з поверхні зразків швидкість корозії збільшувалась і наближалась до швидкості розчинення металу в активному стані.

Багато деталей технологічного обладнання цукрових заводів піддаються швидкому спрацюванню. У ряді випадків його інтенсивність настільки велика, що деталі не витримують навіть одного сезону цукроваріння.

При виготовленні і ремонті деталей технологічного обладнання цукрових заводів застосовують різні матеріали. У вузлах сталеві вали часто працюють в парі з чавунними підшипниками. З цієї причини в якості матеріалу контртіла у парі тертя був обраний сірий чавун СЧ15, який є дешевим і недефіцитним матеріалом.

Тертя здійснювалося за схемою торцевого тертя [5, 6], швидкостях ковзання 0,15; 0,35; 0,74 м/с і тиску на фрикційному контакті 1, 2 і 3 кгс/см² у модельному розчині дифузійного соку.

Дослідження показали (рис. 3), що зі збільшенням тиску на контакті інтенсивність зношування покриттів знижується. Винятком є покриття 1, у якого при збільшенні навантаження від 1 до 2 кгс/см² інтенсивність зношування дещо збільшується (рис. 3а, крива 1), що можна пояснити переважаючим впливом механічного чинника в процесі тертя і уповільненим проявленням гідродинамічного ефекту.

Важливим чинником, що

впливає на роботу пар тертя, є швидкість ковзання. При збільшенні швидкості від 0,15 до 0,35 м/с інтенсивність зношування всіх досліджених покриттів знижувалась, що можна пояснити скороченням тривалості співдотику окремих пятен контакту у парі тертя і часу взаємодії корозійного середовища з ювенільними ділянками поверхонь та частковим проявленням гідродинамічного ефекту. Зі збільшенням швидкості ковзання до 0,74 м/с взаємодія між ювенільними ділянками тіл тертя зменшується, що призводить до подальшого зниження інтенсивності зношування. Характерно, що на максимальній швидкості ковзання (0,74 м/с) інтенсивність зношування всіх досліджуваних покриттів залишається приблизно однаковою (рис. 3в, криві 1-3), що свідчить про те, що відмінності в їх зносостійкості визначаються насамперед корозійною стійкістю, яка, в свою чергу, зумовлена відмінностями у хімічному складі матеріалів.

Збільшення інтенсивності зношування покриттів 1 і 2 при збільшенні швидкості ковзання від 0,15 до 0,35 м/с (рис. 3а,б, криві 1 і 2) пояснюється зміною характеру зношування. На поверхні контртіла (чавун СЧ15) при $P = 3$ кгс/см² візуально спостерігалось рифле

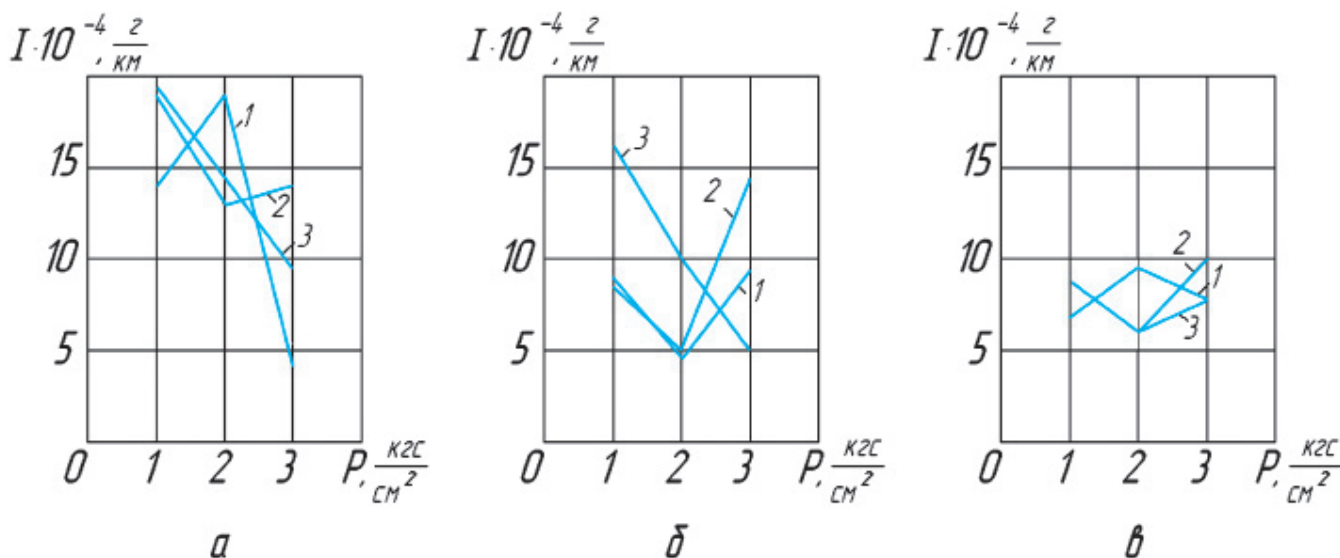


Рис. 3. Інтенсивність зношування покриттів у модельному розчині дифузійного соку при швидкостях ковзання: а – 0,15; б – 0,35; в – 0,74 м/с

утворення, зумовлене розвитком процесу графітизації чавуну, яке значно знижує механічні характеристики поверхні. Наявність на поверхнях тертя графіту побічно підтверджувалося і деяким зменшенням коефіцієнта тертя.

Для всіх досліджуваних покриттів при швидкості ковзання 0,15 м/с коефіцієнт тертя в діапазоні розглянутих навантажень залишався практично постійним, що свідчить про пластичну деформацію нерівностей в місцях контакту тіл тертя. Процес тертя зразків при $V_k = 0,35$ і $0,74$ м/с відбувався в режимі пружно - пластичної деформації, що сприяло збільшенню площі фактичного контакту тіл, розвитку адгезійних процесів і підвищенню коефіцієнта тертя з ростом навантаження.

Швидкість руйнування поверхонь металів при терті в рідких корозійноактивних середовищах багато в чому визначається фізико-хімічними властивостями утворених оксидних плівок, які екранують поверхні тертя і захищають їх від пошкодження, виконуючи одночасно змащувальну функцію. При ковзанні по оксиду, руйнування, як правило, локалізується всередині нього і чим сильніше такі плівки гальмують анодний процес, тим краща їх змащувальна дія. Варто відмітити, що поряд з важливістю механічних властивостей оксидних плівок не менш важлива роль в процесі КМЗ належить швидкості їх утворення та видалення.

Досліджувався також і вплив цукрози на процеси тертя і зно-

шування. У роботах [2,3] показано, що за наявності цукрози в дистильованій воді знос сталі Ст5 в парі тертя з бронзою БрОЦС 5-5-5 при різних швидкостях ковзання зменшується на 56-67%, а при терті металів в парі з сальниковою набивкою - на 14-40%.

Нами досліджувався вплив цукрози на інтенсивність зношування плазмових покриттів. Встановлено, що підвищення зносостійкості покриттів на 40-50 % в розчинах цукрози обумовлене істотним її впливом на перебіг хімічних і електрохімічних процесів. Зменшуючи електропровідність розчину, цукроза інгібує процес корозії залізо-вуглецевих сплавів.

Висновки

1. Досліджені електрохімічні характеристики плазмових покриттів в технологічних середовищах бурякоцукрового виробництва. Описана кінетика зміни електродного потенціалу покриттів у дифузійному соку. Визначені значення густини корозійного струму і рівень швидкостей корозії для досліджуваних плазмових покриттів. Показаний вплив цукрози на електрохімічні характеристики дифузійного соку і покриттів. Встановлено, що найменша швидкість корозії притаманна покриттю ПН55ТЧ5, яке може бути рекомендовано для використання в якості корозієстійкого для деталей, контактуючих з дифузійним соком.

2. Досліджені триботехнічні характеристики плазмових покриттів. Показано, що прак-

тично всі вибрані покриття можуть бути використані в якості зносостійких у парах тертя з чавуном СЧ15. Встановлено, що зі збільшенням навантаження на фрикційному контакті у вибраному діапазоні навантажень інтенсивність зношування покриттів майже не змінюється.

Список використаних джерел

1. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия /Л.И.Антропов – М. : Высшая школа, 1975. –568 с.
2. Воробьева Г.А. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств / Г.А. Воробьева – М. : Химия, 1967. – 843 с.
3. Карпенко Г.В. Прочность стали в коррозионной среде / Г.В. Карпенко – М.: Машиностроение, 1963. – 168 с.
4. Круман Б.Б. Коррозионно-механический износ оборудования / Б.Б. Круман, В.А. Крупицына. – М. : Машиностроение, 1968. –104 с.
5. Прейс Г.А. Повышение износостойкости оборудования пищевой промышленности /Г.А. Прейс, Н.А. Сологуб, А.И. Некоз. – М. : Машиностроение, 1979. – 208 с.
6. Супрунчук В.К. Конструкционные материалы и покрытия в продовольственном машиностроении /В.К. Супрунчук, Э. В. Островский. Справочник. – М. : Машиностроение, 1984. –308 с.

*Рецензент: В.С. Ловейкін,
д.т.н., проф.*

ЦІКАВІ НОВИНИ

Світові ціни на продовольство впродовж трьох років зросли на 37%

Згідно з дослідженням, проведеним ФАО, з 2000 року ціни на продукти харчування зросли на 140% або майже в два з половиною рази. В середньому за останні три з половиною роки зареєстровано зростання світових цін на продовольство на 37,57%. Відбулось збільшення вартості як м'яса, так і молочних продуктів, круп, олії та жирів, цукру. За рахунок запасів, що утворилися в попередні роки ціна на цукор піднялася всього на 10%, а за останні 12 місяців спостерігається падіння вартості цього продукту на 25%.

Джерело: ФАО