ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 641. 41

Піддубний В. А.
член-кореспондент Національної академії аграрних наук України,
Державна науково-дослідна установа
«Український науково-дослідний інститут спирту та біотехнології продовольчих продуктів»
Київ, Україна
E-mail: *Profpod@ukr.net*
ORCID: *0000-0002-1497-7133*

Стадник І. Я.
доктор технічних наук,
професор кафедри обладнання харчових технологій,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Тернопіль, Україна
E-mail: *igorstadnykk@gmail.com*
ORCID: *0000-0003-4126-3256*

Пилипець О. М.
кандидат технічних наук,
доцент кафедри обладнання харчових технологій,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Тернопіль, Україна
E-mail: *Lyasota@tntu.edu.ua*
ORCID: *0000-0003-0957-8282*

Кравченюк Х. Ю.
кандидат біологічних наук,
асистент кафедри обладнання харчових технологій,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Тернопіль, Україна
E-mail: *kravchenukx30@gmail.com*
ORCID: *0009-0007-1974-5001*

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ РУХУ СЕРЕДОВИЩА У ТРАНСПОРТУЮЧИХ МЕРЕЖАХ БРОДИЛЬНИХ ВИРОБНИЦТВ

Анотація

Розглянута фізична сутність впливу гідравлічних опорів та вершин шорсткості в примежовому шарі з великим градієнтом швидкості розчину інгібітора корозії в транспортуючих трубопроводах сировини на адгезію, що встановлює залежність від форми, градієнта швидкості і кута шорсткості, прикладання механічних сил, ступеня попередньої дисперсності й фізико-механічних властивостей середовища.

© Піддубний В. А., Стадник І. Я., Пилипець О. М., Кравченюк Х. Ю., 2024

DOI: https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-3.15

Встановлено характер контактної взаємодії захисних адсорбційних і бактеріальних плівок із шорсткою поверхнею у транспортуючому трубопроводі та шляхи деградації плівок корозії металів. Порушення цих взаємних співвідношень призводить до ефективної санітарної обробки, що, відповідно, забезпечує випуск якісної продукції та подовжує термін її зберігання. Обґрунтовано площу контакту адгезиву та складові формуючі роботу на подолання адгезії і деформації середовища при визначенні критеріїв, які впливають на процес, відповідно до кожного певного періоду стадії деформації. Одержані дані дають відповідь на ряд запитань про можливість взаємодії поверхні із середовищем, що встановлюють реальну зміну контакту адгезиву у трубопроводі. Встановлено, що для забезпечення змінної площі фактичного контакту, що сприяє кращій деградації біоплівки, і відповідно, проходженню якісного процесу санітарної обробки поверхонь, необхідною умовою являється додержання швидкості руху миючих засобів до відповідних технологічних параметрів.

Ключові слова: *плівка, адгезія, площа контакту, градієнта швидкості.*

Вступ. Ключове завдання виробництв, основаних на процесах бродіння, спрямоване на забезпечення достатньої кількості якісної та безпечної продукції. До цієї групи відносяться виробництво пива, спирту, вина, кисломолочних продуктів, випічка хліба. Особливістю цих виробництв є використання у технології мікроорганізмів, що викликають зброджування вуглеводів та утворення на їх поверхні плівок, які сприяють накопиченню мікроорганізмів та корозії металу Основний чинник, який знижує терміни зберігання і безпечність продуктів, – це мікроорганізми [5; 8].

Підготовка поверхні транспортуючих мереж є ключовим етапом, який визначає довговічність і якість кінцевого покриття для усунення плівок мікроорганізмів та корозії. Цей процес включає ретельне очищення, видалення забруднень і застосування відповідної хімічної обробки, яка покращує поверхню. Завдяки правильній підготовці поверхні покриття набуває більшої стійкості до корозії та механічних пошкоджень. Нехтування цим етапом може призвести до проблем: скорочення терміну служби покриття і необхідність дорогого ремонту.

Недостатня санітарна обробка обладнання є однією з основних причин утворення небажаних бактерій на поверхнях, що призводить до швидкого псування продукції в бродильному виробництві. Дослідження бактерій у бродильному виробництві є важливим напрямком, оскільки різні види мікроорганізмів можуть суттєво впливати на якість продукції. Вважається, що адгезія мікроорганізмів та корозія металу до поверхні – це складний фізико-хімічний процес, який залежить від стану поверхні, таких як топографія, шорсткість, гідрофобність, хімічний склад та поверхнева енергія.

Основні мікроорганізми та корозія, які можуть викликати швидке псування продукції в бродильному виробництві, включають: Lactobacillus, Pediococcus, Acetobacter, Enterobacteriaceae, Clostridium. Ці мікроорганізми та корозія, залежно від виду виробництва, можуть викликати небажане кисломолочне бродіння, утворення слизу, погіршення органолептичних властивостей (гіркий смак, неприємний запах), утворення газу. Особливо Clostridium може викликати анаеробне псування, особливо в умовах низького кисню, виробляючи токсини, що призводять до псування продукції

Отже, мікрофлора формується під час отримання сировини, його первинної обробки, охолодження та транспортування. Відповідно, на переробних підприємствах мікроорганізми з сировини формують мікрофлору технологічного обладнання та сприяють утворенню корозії, незважаючи на застосування ретельної санітарної обробки сучасними дезінфікуючими засобами. Дослідженнями встановлено [1; 8], що навіть за стандартної санітарної обробки сучасними мийними, дезінфікуючими та інгібіторними засобами, обладнання не є стерильним. Це дає підставу вважати, що після проведення дезінфекції на поверхнях обладнання залишаються бактерії, які мають здатність утворювати плівки високої і середньої щільності.

У харчовій промисловості для обладнання найчастіше використовують нержавіючу сталь. Дані марки сталі можуть мати різну шорсткість поверхні. Тому нині науковці [3; 6; 9] вивчають вплив на процес деградації плівки у харчовій промисловості, крім їх біологічних властивостей, ще й технічні властивості матеріалу, до якого відбувається адгезія (шорсткість, поверхнева вільна енергія, змочуваність та ін.). Таким чином, більш глибше розкриття механізмів і закономірностей деградації мікробних плівок на абіогенних поверхнях в харчовій промисловості дозволить розробити превентивні заходи боротьби з ними.

У випадку контакту структурно-пластичного тіла, яким є плівка, адгезію доцільно розглядати як процес, що відбувається у часі при контакті двох тіл та полягає у поступовому виникненні зв'язку між ними. Порушення адгезійного зв'язку теж слід розглядати як процес, що відбувається в часі при санітарній обробці. З проведеного аналізу виникнення і порушення адгезії як процесу, що протікає у часі, факторами, які впливають на процес, можна вважати температуру, зовнішнє зусилля та тривалість контакту. На порушення адгезійного зв'язку [5; 9], тобто деградації плівки, крім дійсного значення зусилля відриву, також включається зусилля, що витрачається на подолання побічних процесів.

Так при ліквідації адгезійних зв'язків шляхом відривання їх від досліджуваної поверхні миючими засобами, певні зусилля йдуть на подолання гідродинамічних опорів та внутрішніх напруг. При відриві проходить її деформація на фактичній площі контакту. Відповідно впливає багато факторів: нормальний тиск, природа миючих засобів, швидкість потоку, а також зовнішні чинники – температура, напруженість, тривалість попереднього навантаження, швидкість зростання зусилля відриву [1; 2; 4; 5]. Ці фактори здійснюють різний вплив на зміну фактичної площі контакту.

Різновиди оброблювальних захисних засобів та їх рух під час санітарної обробки є рушійною силою, яка створюється внаслідок різниці тисків. Створений напірний рух засобу у трубопроводі контактує з параметрами поверхонь, коефіцієнтами гідравлічного тертя та місцевими гідравлічними опорами. Тому імітаційні моделі можуть бути використані для детального аналізу процесів деградації плівок з урахуванням різних факторів (гідродинаміка, хімічні та біологічні процеси). На основі моделювання можна розробляти та оптимізувати методи очищення і санітарної обробки трубопроводів, що забезпечить ефективну боротьбу з плівками та підвищить якість виробництва.

Отже, **мета** роботи полягає у визначенні та оцінці впливу різних факторів на процес деградації плівки в умовах транспортної мережі.

Розгляд моделі деградації плівки у трубопроводах є важливим аспектом у забезпеченні належної санітарної обробки та якості продукції в бродильному виробництві. Така модель дозволяє краще розуміти процеси утворення, розвитку та деградації плівок, що може допомогти у розробці ефективних методів боротьби з ними.

Розрізняють два види втрат напору: по довжині трубопроводу h і на місцеві опори, $h_м$**.** Місцеві й гідравлічні опори зумовлюються явищами додаткового тертя на порівняно коротких ділянках трубопроводів унаслідок деформації потоку за зміни форми живого перерізу, напрямку і режиму руху. Аналіз втрат напору за рівнянням Бернуллі показує, що втрати опорів будь-якого типу пропорційні динамічному напору і виражаються формулою Весбаха в одиницях напору, м [6; 8].

$h_m = \varsigma \frac{\omega^2}{2g}$ або в одиницях тиску, Па $\Delta p = \xi \frac{\rho \omega^2}{2}$,

де ς – коефіцієнт місцевого опору;

ρ – густина рідини,

ω – швидкість потоку, яка визначається відношенням об'ємної витрати рідини Q, м^3/с до площі живого перерізу S, м^2: $\omega = \frac{Q}{S}$.

Враховуючи те, що проходить турбулентний рух, то для визначення втрат використовується формула Дарсі-Вейсбаха:

$h_i = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\omega^2}{2g}$ і величина втрат тиску $\Delta p_i = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\omega^2 \rho}{2}$,

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя,

$\lambda = 64 / R_e$;

l – ділянка трубопроводу, м;

d – гідравлічного тертя розраховується формулою:

$$\lambda = 0.11\left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{R_e}\right)$$

де Δ – висота шорсткостей поверхні трубопроводу.

Дослідити динаміку руху рідини в трубопроводі із складною конфігурацією внутрішньої поверхні, визначити значення коефіцієнтів їх гідравлічних місцевих опорів дають змогу сучасні програмні комплекси математичного моделювання тривимірних потоків рідин та газів ANSYSCFX, FlowVision, Flow3D. Математичною моделлю руху рідини, яка застосовується в Flow Vision, є сукупність рівнянь конвективно-дифузного переносу. У загальній диференційній формі ці рівняння мають такий вигляд:

$$\partial t/\partial f + V \cdot (\nabla f) = D \cdot \nabla^2 f + Q$$

де f – змінна, яка залежить від просторових координат x і часу t;

$\partial f/\partial t$ – часткова похідна змінної f за часом t;

V(x,t) – векторне поле швидкості руху середовища;

D(x,t) – тензорний коефіцієнт дифузії;

∇ – оператор градієнту, що включає часткові похідні за просторовими координатами x;

∇^2 – лапласіан, який представляє собою суму других часткових похідних змінної f за всіма просторовими координатами;

Q(x,t) – вхідний чи джерелевий член, який може включати в себе зовнішні впливи або джерела змінної f.

Для чисельного розв'язання рівнянь конвективно-дифузійного переносу застосовується метод скінчених об'ємів у вигляді:

1. Дискретизація простору. Розрахункова область поділяється на комірки (клітини) розрахункової сітки. Кожна комірка має свій об'єм V_i.
2. Дискретизація часу. Час також дискретизується на кроки τ, де τ – крок часу.
3. Рівняння переносу. У вигляді скінченних об'ємів загальне рівняння переносу для змінної f можна записати як:

$$\frac{f^{n+1}-f^n}{\tau}+\frac{1}{V_i}\sum\nolimits_{j\forall\epsilon N(i)}F_{ij}=\frac{1}{V_i}\sum\nolimits_{j\epsilon N(i)}D_{ij}\left(f_j^n-f_i^n\right)+Q_i$$

де f_i^n *і* f_i^{n+1} – значення змінної *f* в комірці *i* на часах t_n і t_{n+1} відповідно;

τ – крок часу;

V_i – об'єм комірки *i*;

$N_{(i)}$ – множина сусідніх комірок до комірки *i*;

F_{ij} – потік f через границю між комірками *i* і *j*;

D_{ij} – коефіцієнт дифузії між комірками *i* і *j*;

Q_i – вхідний чи джерелевий член для комірки *i*.

4. Інтегрування по часу. Рівняння інтегрується по часу з використанням явних або неявних методів в залежності від стійкості схеми і обсягу обчислень.

Розв'язок рівняння інтегрується по об'єму кожної *i*-ої комірки розрахункової сітки та по часу (крок часу) *τ*:

$$V_i\left(f_{n+1}^i-f_n^i\right)+\sum_j F_i^j\,s_i^j+\sum_j G_i^j g_i^j+Q_i=0$$

де Q_i– об'ємний вхідний параметр змінної *f*;f_n– середнє значення змінної по об'єму комірки в момент часу t_n.;

Vi – об'єм комірки;

S_i – площа комірки;

t_n, t_{n+1} – моменти початку і кінця кроку по часу $t_{n+1}= t_n$,+τ.

$$V_i f_i^n=\int_{V_i}^{V} f dV|t^n$$

Середні густини потоків розрахункових змінних *j* через вільні грані S_{ji} та тверді грані g_{ij} за крок часу τ обчислюються наступним чином:

$$\overline{\dot{F}_{ji}^{w}}=\frac{1}{\tau}\int_{t^n}^{t^{n+1}}F_{ji}^{\omega}(t)dt$$

$$\overline{\dot{G}_{ji}^{w}}=\frac{1}{\tau}\int_{t^n}^{t^{n+1}}G_{ji}^{\omega}(t)dt$$

де: F_{ji}^{ω} – середня густина потоку змінної j через вільну грань S_{ji} за час τ;

G_{ji}^{ω} – середня густина потоку змінної j через тверду грань g_{ij} за час τ;

F_{ji}^{ω} (t) – густина потоку змінної j через відповідну грань S_{ji} та g_{ij} у момент часу t;

τ – крок часу, за який обчислюються середні значення.

Першим кроком моделювання руху рідини в з'єднаннях є створення тривимірної геометричної моделі із прилеглими ділянками трубопроводу. Тривимірні моделі створювались у програмному комплексі MSCNastrun, після чого вони імпортувались у програмний комплекс FlowVision.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для дослідження динаміки руху рідини використано математичну модель турбулентного нестисливого потоку [3; 7; 10], яка базується на застосуванні для розв'язку рівняння Нав'є-Стокса, що дає змогу розрахувати розподіл швидкості та тиску вздовж трубопроводу.

Для моделювання динаміки руху нержавіючих трубопроводів було задано стандартну k-ε (k –турбулентна енергія, ε – швидкість дисипації турбулентної енергії) модель турбулентності. Для стандартної k-ε моделі турбулентності, турбулентна динамічна в'язкість дорівнює: $\mu_t=C_\mu\rho\frac{k^2}{\varepsilon}$

де C_m – коефіцієнт, який приймається рівним C_m*= 0,09*

Рівняння переносу турбулентної дисипації

$$\varepsilon\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t}+\nabla(\rho\vartheta\varepsilon)=\nabla\left(\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\nabla\varepsilon\right)+C_i\frac{\varepsilon}{k}\mu_t G-C_2\rho\frac{\varepsilon^2}{k}$$

де Б – коефіцієнт, який рівний 1,3; C_1 – коефіцієнт, який рівний C_1=1,44;

C_2 – коефіцієнт, який рівний C_2=1,92; *μ* – молекулярна динамічна в'язкість; $Б_k$ – коефіцієнт (дорівнює одиниці); *G* – параметр.

За описаною вище методикою проведено моделювання течії рідини на лабораторній установці ділянкою нержавіючого трубопроводу довжиною *L = 2,5м*, посередині якої встановлено з'єднання. Зовнішній діаметр труб приймаємо рівним D_m = 40 *мм*, товщину стінки δ_m = 3,5 *мм*.

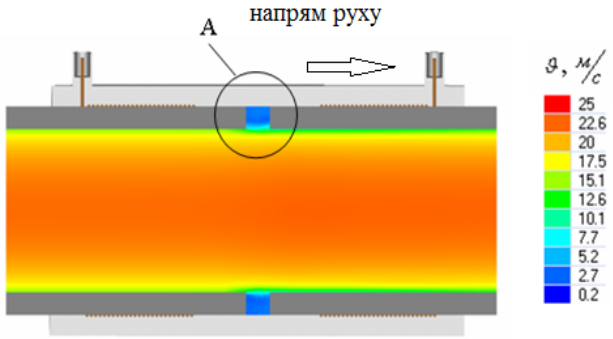


Рис. 1. Розподіл модуля швидкості потоку рідини у повздовжньому перерізі

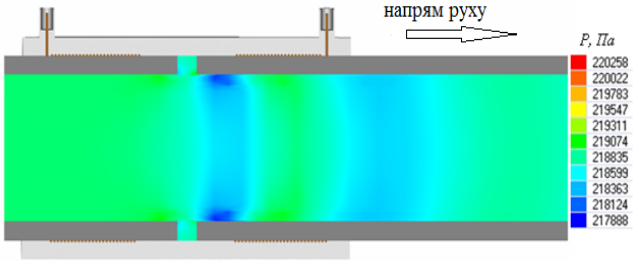
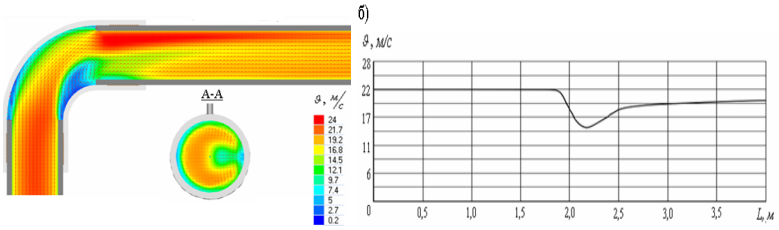


Рис. 2. Розподіл та зміна тиску у повздовжньому перерізі

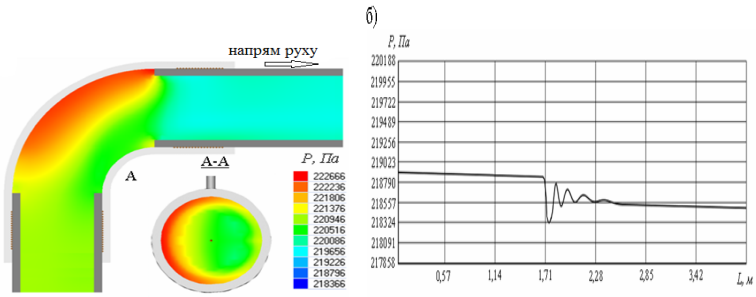
Як видно з перерізу труби по модулю швидкості та векторів швидкості (рис. 1) рідинного потоку у місці з'єднань нержавіючих труб утворюється стійкий вихор, який призводить до незначного падіння тиску, що видно на рисунку по тиску та графіку зміни тиску вздовж трубопроводу (рис. 2).

Під час проходження потоку коліном, у місці різкого розширення біля зовнішньої стінки утворюється незначний вихор, а біля внутрішньої стінки відбувається значне зниження швидкості потоку із відривом потоку від стінки і утворенням значного вихору. Такий розподіл швидкостей є нехарактерним для колін і зумовлений наявністю різкого розширення та різкого звуження та є однією з причин значного падіння тиску на виході потоку коліна, що видно з перерізу коліна по тиску та графіку зміни тиску (рис. 3, 4).



а **б**

Рис. 3. Розподіл модуля швидкості: а) вектори швидкості; б) зміна швидкості



а **б**

Рис. 4. Розподіл та зміна тиску рідини у повздовжньому перерізі:
а) розподіл тиску на вході та виході в коліні; б) зміна тиску по довжині

Дослідження динаміки руху рідини місцевими опорами трубопроводів дозволили спостерігати вихроутворення, реверсний рух рідини, відрив потоку від стінки з'єднання, що, у свою чергу, приводить до значних втрат швидкості і тиску. Визначення впливу втрат швидкості та тиску потоку, дозволило встановити шляхи удосконалення технології проведення санітарної обробки обладнання. Удосконалення санітарної обробки полягає в тому, що у цих місцях найбільш можливі утворення плівок.

Висновки. Отже, проведення досліджень за допомогою програмного комплексу FlowVision у моделюванні тривимірних потоків рідин дозволяє відслідковувати динаміку руху рідини у місцевих опорах трубопроводів, а також зміни зовнішніх тисків та внутрішніх показників системи. Для уточнення ролі окремих факторів системи можливо встановити без використання складних математичних залежностей. Це дозволяє глибше зрозуміти процес та визначити вплив шорсткості місцевих опорів на деградацію мікробної адгезії, що сприятиме удосконаленню та модифікації поверхонь, а також створенню нових методик і технологій санітарної обробки, спрямованих на підвищення якості обладнання.

Список використаних джерел

1. Визначення розрахункових навантажень виробничих механізмів і машин та технологічні розрахунки виробництва борошняних виробів / П. Гаврилко та ін.; за ред. І.Я. Стадник. Ужгород. 2023. 464 с.
2. Ощинок І М., Кравченюк Х.Ю., Стадник І.Я. Визначення динаміки руху рідини у транспортуючих мережах молочної галузі. *Вісник Львівського торгово-економічного університету*. 2019. С. 29–33.
3. Andriy Derkach, Igor Stadnyk, Volodymyr Piddubnyi, et al. Achievements and problems in studying the mechanism of thermal potential transfer regulation between liquids. *Machinery & Energetics*. 2024. Vol. 15 No. 1. P. 104–117.
4. Bloksma, A., Niemann W. The effects of temperature on some rheological propertits of wheat flour doughs. *Journal of Texture studies*. 1975. vol. 6, No 3. P. 343–361. https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1975.tb01130.x.
5. Igor Stadnyk, Volodymyr Piddubnyi, Svitlana Krsnozhon, Nataliia Antoshkova. Influence of reduction on adhesive propertiesю. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. vol. 14. P. 76–87. https://doi.org/10.5219/1195.
6. Igor Stadnyk, Volodymyr Piddubnuy, Mykhail Kravchenko, Larysa Rybchuk, Olena Kolomiiets, Svitlana Danylo. Adhesion of marzipan pastes based on dry demineralized whey. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences.* 2020. vol. 14, P. 1149–1160. https://doi.org/10.5219/.
7. Moriarty T. F., Poulsson A. H., Rochford E.C., Richards T. J. Bacterial Adhesion and Biomaterial. *Ducheyne (Ed.). Comprehensive Biomaterials, Elsevier Ltd., Oxford*. 2011. P. 75–100.
8. Hoevar M., Jenko M., Godec M., Drobn D. An overviev of the influence of stainless-steel surface properties on bacterial adhesion. *Materials and technology*. 2014. Vol. 48(5). P. 609–617.
9. Crawford R.J., Webb H.K., Truong V.K. Advances in Colloid and Interface Science. *Hasan*. 2012. Vol. 179. P. 142–149.
10. Whitehead K.A., Verran J.A., Murthy R. The Effect of Substratum Properties onthe Survival of Attached Microorganisms on Inert Surfaces. *Marineand Industrial Biofouling, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg*. 2009. P. 13–33.

Piddubnyi V. A.
Corresponding member of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine,
State Sctentific Institution Ukrainian Research Institute for Alcohol and Biotechnology of Food Products,
Kyiv, Ukraine
E-mail: *Profpod@ukr.net*
ORCID: *0000-0002-1497-7133*

Stadnyk I. Ya.
Doctor of Technical Sciences,
Professor at the Department of Food Technology Equipment,
Ternopil Ivan Puluj National Technical University
Ternopil, Ukraine
E-mail: *igorstadnykk@gmail.com,*
ORCID: *0000-0003-4126-3256*

Pylypets O. M.
Candidate of Technical Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Food Technology Equipment,
Ternopil Ivan Puluj National Technical University
Ternopil, Ukraine
E-mail: *Lyasota@tntu.edu.ua*
ORCID: *0000-0003-0957-8282*

Kravchenyuk H. Yu.
Candidate of Biological Sciences,
Assistant at the Department of Food Technology Equipment,
Ternopil Ivan Puluj National Technical University
Ternopil, Ukraine
E-mail: *kravchenukx30@gmail.com*
ORCID: *0009-0007-1974-5001*

SIMULATION OF THE DYNAMICS OF ENVIRONMENTAL MOVEMENT IN TRANSPORT NETWORKS OF INDUSTRIES

Abstract

The physical essence of the influence of the hydraulic resistance and roughness vertexes in the adjoining layer with a large velocity gradient of detergents in the transport pipelines of raw materials on adhesion, which establishes dependence on the shape, velocity gradient and angle of roughness, application of mechanical forces, the degree of previous dispersion and physical and mechanical properties of the medium are considered.

The nature of the contact interaction of a bacterial biofilm with a rough surface in the transport pipeline and the ways of degradation of the biofilm are established. Violations of these mutual relations lead to efficient sanitary treatment, and in accordance with the release of quality products and the period of their sustainability. The contact area of the adhesive and the component forming work for overcoming the adhesion and deformation of the environment in determining the criteria influencing the process according to each particular period of the deformation stage are substantiated. The obtained data give an answer to a number of questions about the possibility of interaction between the surface and the environment, which establishes a real change in the adhesion contact in the pipeline. It was established that in order to provide a variable area of actual contact, which contributes to better degradation of biofilms, and, accordingly, the passage of a qualitative process of sanitary treatment of surfaces, the necessary condition is to maintain the velocity of movement of detergents to the corresponding technological parameters.

Key words: *biofilm, adhesion, contact area, velocity gradient.*

References

1. Havrylko, V., Piddubny, I., Stadnyk, T., Gushtan, S., Kraevska, L., & Kaganets-Gavrylko L. (2023). Vyznachennya rosrahynkovuch vurodnucuh mehanizmiv i maszun ta technologizcni rozrachynku vurodnuztva dorozcnynuch durobiv [Determination of design loads of production mechanisms and machines and technological calculations of production]. (Stadnyk. I. Ya., Ed.). Uzhhorod. 464 p. [in Ukrainian].

2. Oshchynok, I.M., Kravchenyuk, Y., & Stadnyk, I.Ya. (2019). Vyznachennya dunamiku ruchu ridunu b transportuyachuch merezhach molochnoy haluzhi [Determination of fluid movement dynamics in the transportation networks of the dairy industry]. *Visnyk Lvivckgo torgovo-ekonomichnogo yniversutety – Bulletin of the Lviv University of Trade and Economics*. 29–35 [in Ukrainian].

3. Andriy Derkach, Igor Stadnyk, & Volodymyr Piddubnyi, et al. (2024). Achievements and problems in studying the mechanism of thermal potential transfer regulation between liquids. In: *Machinery & Energetics.* Vol. 15, No. 1, 104–117 [in English].

4. Bloksma, A., & Niemann, W. (1975). The effects of temperature on some rheological propertits of wheat flour doughs. *Journal of Texture studies*, vol. 6, no. 3, p. 343–361. https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1975.tb01130.x [in English].

5. Igor Stadnyk, Volodymyr Piddubnyi, Svitlana Krsnozhon, & Nataliia Antoshkova (2020). Influence of reduction on adhesive properties. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. vol. 14, p. 76–87. https://doi.org/10.5219/1195 [in English].

6. Igor Stadnyk, Volodymyr Piddubnuy, Mykhail Kravchenko, Larysa Rybchuk, Olena Kolomiiets, & Svitlana Danylo (2020). Adhesion of marzipan pastes based on dry demineralized whey. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences,* vol. 14*,* p. 1149–1160. https://doi.org/10.5219/ [in English].

7. Moriarty, T.F., Poulsson, A.H., Rochford, E.C., & Richards, T.J. (2011). Bacterial Adhesion and Biomaterial Surfaces, In: P. Ducheyne (Ed.), *Comprehensive Biomaterials,* Elsevier Ltd., Oxford*.* P. 75–100 [in English].

8. Hoevar, M., Jenko, M., Godec, M., & Drobne, D. (2014). An overviev of the influence of stainless-steel surface properties on bacterial adhesion. *Materials and technology*, 48(5), 609–617 [in English].

9. Webb, H.K., Truong, V.K., Hasan, J., & Ivanova, E. (2012). Advances in Colloid and Interface*. Science*, 179, 142–149. https://doi.org/10.5219/1195 [in English].

10. Whitehead, K.A., & Verran, J. (2009). The Effect of Substratum Properties onthe Survival of Attached Microorganisms on Inert Surfaces, In: H. C.Flemming, P. S. Murthy, R. Venkatesan, K. Cooksey (Eds.). *Marineand Industrial Biofouling, Springer Verlag, Berlin Heidelberg*. P. 13–33 [in English].