

УДК 663.432.031

Підлісний В.В.¹*к.т.н., доцент**кафедра машиновикористання в АПК***E-mail** : v.pidlisnyj37@gmail.com**Семенов О.М.¹***к.т.н., доцент**кафедра машиновикористання в АПК***E-mail** : som_s78@ukr.net**Ткач О.В.¹***к.т.н., доцент**кафедра машиновикористання в АПК, E-mail* : oleg.v.tkach@gmail.com**Славомір Курпаска²***д.н., професор, декан Краків, Польща***Барбара Дзідзіц³***магістр інженерії*¹ *Інженерно-технічний факультет.**Подільський державний аграрно-технічний університет.**Кам'янець-Подільський, Україна*² *Факульт інженерії продукції і енергетики.**Аграрний університет в Кракові. Краків, Польща*³ *Факультет товарознавства.**Краківський університет економіки. Краків, Польща*

ОБГРУНТУВАННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПЕРЕБІГУ БІОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ЗАМОЧУВАННІ СОЛОДУ

Анотація

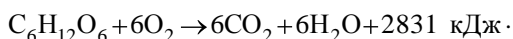
Авторами проведено дослідження з метою встановлення балансу між кількістю споживаного в процесі дихання зерна кисню, з тією кількістю O_2 , яку необхідно доставити водою, присутності осмодифузійного ефекту в процесах замочування та існування дифузійного перенесення кисню через оболонки зернівки. Інформаційною базою даного дослідження послужувало зростання в процесах замочування вологості, що підсилює перебіг біохімічних процесів і дихання зерна, що в свою чергу потребує підвищеного споживання кисню. В статті представлені результати дослідження щодо встановлення балансу між кількістю споживаного в процесі дихання зерна кисню із кількістю O_2 , яку необхідно доставити замочувальною водою, а також факти існування дифузійного перенесення кисню через оболонки зернівки. В якості джерел даних розглянуто розчинність газів у воді та вплив температури середовища на масообмін. Методика дослідження базується на теоретичних розробках і науковому інструментарії щодо оцінки перспектив інтенсифікації масообмінних потоків, також диференційованому аналізі впливу на складові всієї сукупності масообмінних процесів. Обґрунтовано необхідність аерації середовища в умовах додаткових до атмосферного гідростатичного тисків. В статті сформувані гіпотези щодо перебігу процесів масообміну, однак відсутність повного балансу вказує на існування інших шляхів транспортування кисню через оболонки зернівки. За допомогою кореляційно-регресійної моделі доведено, що стосовно зернівки мають місце спряженні матеріальні потоки: води, кисню, діоксиду вуглецю, а також тепловий потік. Вказані потоки мають не стаціонарний характер у зв'язку зі змінами рушійних факторів.

Даний висновок показує, що вирішення проблеми обмеження кількості розчиненого CO_2 можна досягти лише за рахунок аерації.

Ключові слова: солод, замочування, масообмін, газообмін, напівпроникні оболонки.

Вступ. Виробництво солоду для пивоварної галузі розвивалося разом із загальною технологією і відповідало у своєму апаратурно-механічному оснащенню рівню свого часу. Однак, основні положення технології витримуються на протязі значного історичного періоду і передбачають в основному переліку операцій заготовку і зберігання ячменю, мийку і замочування зерна, його пророщування, сушіння, відокремлювання ростків та витримку в часі до безпосереднього використання.

Кожна з названих операцій супроводжується комплексами хімічних і біохімічних реакцій. Під час зберігання відбувається дихання зерна відповідно до добре вивчених закономірностей, що узагальнюються спрощеною формулою такого процесу у вигляді:



Споживаним компонентом при цьому є кисень, а в результаті дихання утворюється діоксид вуглецю, вода і виділяється теплова енергія. За дефіциту кисню розпочинається анаеробний обмін речовинами, кінцевими продуктами якого є алкоголь і CO_2 , а також альдегіди, органічні кислоти та ефіри [1, 2, 3].

Зростання в процесах замочування вологості зерна підсилює перебіг біохімічних процесів і дихання, що потребує підвищення у споживанні кисню [1-3]. Теоретичне співвідношення між кількістю споживаного кисню і утворюваного CO_2 відоме. З однієї молекули кисню утворюється одна молекула діоксиду вуглецю. При цьому дихальний коефіцієнт, тобто відношення об'ємів CO_2 і O_2 , дорівнює одиниці. Оскільки окислення органічних речовин відбувається під дією кисню, що поставляється зволожувальною водою, то очевидним є існування кореляції між цими двома потоками.

З огляду на фізико-хімію процесу співвідношення між ними залежить від рівня розчиненого кисню. Разом з тим, оцінюючи масо передачу в системі «вода-зернівка», слід враховувати наявність спряженого зустрічного потоку CO_2 .

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз результатів наукових досліджень [5-8] призводить до висновку про відсутність вказівок і рекомендацій стосовно рівня насичення води киснем. Проте, якщо вважати зволожувальну воду «синхронним» транспортним засобом кисню, то концентрацію O_2 у зволожувальній воді доцільно мати на рівні насичення.

Проте інформація про газообмін в середовищі "зерно – вода" практично відсутня, хоча масообмін на рівні біологічних об'єктів, мікробних клітин тощо в сучасному описі [5, 7, 8] дає підстави стверджувати про доцільність поглиблення знань в цій галузі.

Мета. Метою дослідження є встановлення балансу між кількістю споживаного в процесі дихання зерна кисню, з тією кількістю O_2 , яку необхідно доставити водою. А також встановлення існування дифузійного перенесення кисню через оболонки зернівки.

Уточнити присутність осмодифузійного ефекту в процесах замочування зерна, та розробити методики по визначенню матеріальних спряжених потоків масообміну на основі відповідних балансів.

Методологія дослідження. Дані, що стосуються розчинності азоту і кисню у воді, наведені в табл. 1 [3].

Перехід до масових характеристик розчинності газів у $кг/м^3$ здійснимо за виразом

$$c_{н(м)} = c_{н\rho} \quad (1)$$

де $c_{н(м)}$ – масова константа насичення, $кг/м^3$;

$c_{н}$ – об'ємна константа насичення, $м^3/м^3$;

ρ – питома маса газу за нормальних умов, $кг/м^3$.

У зв'язку з тим, що аерація середовища здійснюється повітрям, то розчинність

газів з врахуванням їх парціальних тисків представлено у табл. 2.

Таблиця 1. Розчинність газів у воді при P = 0,1 МПа

Газ	Спосіб визначення розчинності	Температура, °C							
		0	5	10	15	20	25	30	40
Азот	α^*	0,0235	0,0209	0,0186	0,0168	0,0154	0,0143	0,0134	0,0118
Кисень	α	0,0489	0,0429	0,038	0,0341	0,031	0,0283	0,0261	0,0231

* Розчинність по α – коефіцієнт абсорбції Бунзена – об'єму газу (приведений до 0 °C і тиску 0,1 МПа), що поглинається одиницею об'єму води за парціального тиску газу 0,1 МПа.

Таблиця 2. Розчинність газів у воді за парціальних тисків азоту 0,078 МПа і кисню 0,021 МПа

Газ	Спосіб визначення розчинності	Температура, °C							
		0	5	10	15	20	25	30	40
Азот	α	0,0183	0,0163	0,0145	0,0131	0,012	0,0112	0,0105	0,0092
Кисень	α	0,0103	0,009	0,00798	0,00716	0,00651	0,00594	0,00548	0,00485

Аерація середовищ при замочуванні зерна здійснюється в умовах додаткових до атмосферного гідростатичних тисків, які слід врахувати при обчисленні сталих насичення. Останні, як відомо, визначаються за законом Генрі:

$$c_H = kP, \quad (2)$$

де k – стала Генрі, яка залежить від фізико-хімічних характеристик газової і рідинних фаз та температури середовища, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{МПа})$.

З врахуванням даних табл. 2 і умови (2) наведемо значення масових констант Генрі при $\rho_{\text{O}_2} = 1,429 \text{ кг}/\text{м}^3$ і $\rho_{\text{N}_2} = 1,251 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Таблиця 3. Значення масових констант Генрі для системи "повітря – вода", $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{МПа})$

$t, ^\circ\text{C}$	0	5	10	15	20	25	30	40
k_{O_2}	0,1472	0,1286	0,114	0,1023	0,093	0,0849	0,078	0,069
k_{N_2}	0,229	0,2039	0,1814	0,1639	0,1501	0,1401	0,1314	0,1151

З урахуванням гідростатичного тиску для вибраного значення температури t , середнє значення константи насичення:

$$c_H = \frac{k_{\text{O}_2} (0,1 + k_{\text{O}_2} (0,1 + P_{\text{г.с}})) + k_{\text{N}_2} (0,2 + P_{\text{г.с}})}{2}, \quad (3)$$

де $P_{\text{г.с}}$ – гідростатичний тиск зерно-водяної суміші на рівні встановлення барботажних елементів аераційної системи.

Визначимо максимальну можливу кількість кисню, який транспортується вологою в процесі замочування. Відомо, що зернова маса складає початкову вологу $W_{\text{п}} = 12\%$ і нехай кінцева складає 48% . Тоді до 1 т зерна з початковою вологою 12% додається 360 кг води. Якщо прийємо $P_{\text{г.с}} = 0,03 \text{ МПа}$, то при температурі середовища $t = 10 ^\circ\text{C}$ одержимо:

$$c_H = \frac{0,114 (0,2 + 0,03)}{2} = 0,013 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Тоді кількість кисню, доставлена у процесі замочування:

$$m_{O_2} = c_n m_{H_2O} = 0,013 \cdot 360 = 4,68 \text{ кг.}$$

За умови, що кількість витрачених на дихання сухих речовин за весь цикл складе 0,5 %, потрібна кількість кисню становить 7,04 кг. Порівняння одержаних на основі матеріальних балансів даних вказує на можливість використання запропонованих гіпотез щодо перебігу процесів масообміну, однак відсутність повного балансу вказує на існування інших шляхів транспортування кисню через оболонки зернівки. Найшвидше це дифузія, за якої проникають молекули кисню і видаляються молекули діоксиду вуглецю. При цьому для останнього не існує іншого способу видалення у відповідності до загально визнаного перебігу біохімічних перетворень у зернівці. Таким чином, слід прийти до висновку про необхідність поповнення кисню у рідинній фазі середовища на протязі процесу замочування і безперервного відведення діоксиду вуглецю.

Транспорт вологи в зернівку на першому етапі слід розглядати як фізичний процес, результатом якого є зниження осмотичного і зростання фізичного P_ϕ тисків. Від початку біохімічних перетворень (дихання) і з синтезом CO_2 має місце порушення усталеної динаміки зниження осмотичного тиску за рахунок накопичення діоксиду вуглецю. Зростання фізичного тиску у вологій частині зернівки підвищує розчинність CO_2 , що сприяє зростанню його концентраційного градієнта в системі "зернівка – вода" і спряженому потоку десорбції.

Зміна вказаних факторів у загальному вигляді відображена на рис. 1. На рис. 2 наведено схему щодо існування спряжених потоків в досліджуваному процесі.

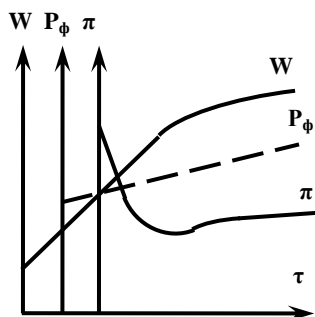


Рис. 1. Залежність фізичних параметрів зернівки від часу τ в процесі замочування

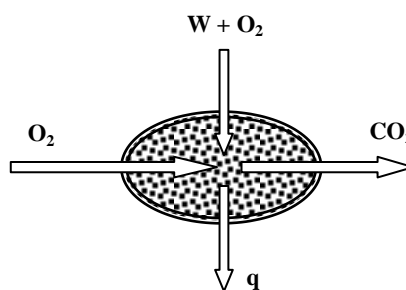


Рис. 2. Схема спряжених матеріальних потоків O_2 , W , CO_2 та теплового потоку q щодо зернівки

Оцінку перспектив інтенсифікації масообмінних потоків слід виконувати з оглядом на те, що їх перебіг пов'язано з біохімічними реакціями ресинтезу складних органічних сполук. Тим не менш, виконаємо диференційований аналіз впливу на складові всієї сукупності масообмінних процесів.

Дані табл. 1-3 стосуються розчинності газів і визначають впливи температури середовищ. Виберемо значення температури $t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, для якої об'ємна розчинність O_2 становить $0,00798 \text{ м}^3/\text{м}^3$, а масова – $0,0114 \text{ кг}/\text{м}^3$. З врахуванням гідростатичного тиску маємо $c_{nO_2} = 0,013 \text{ кг}/\text{м}^3$. Порівняємо ці дані з показниками розчинності діоксиду вуглецю (рис. 3 та 4). Відомо, що CO_2 є добре розчинним газом і для значень $t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ та

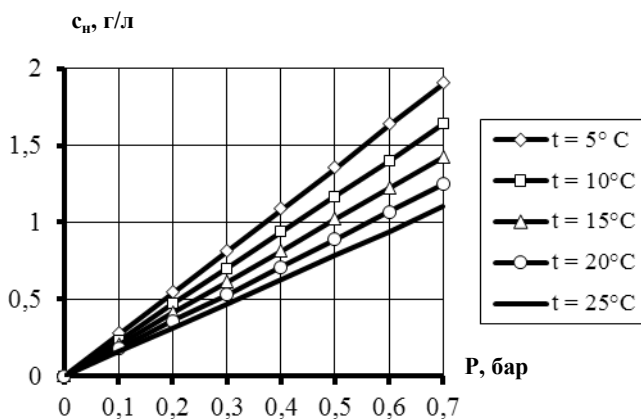


Рис. 3. Графіки залежності сталих насичення води діоксином вуглецю в залежності від парціального тиску

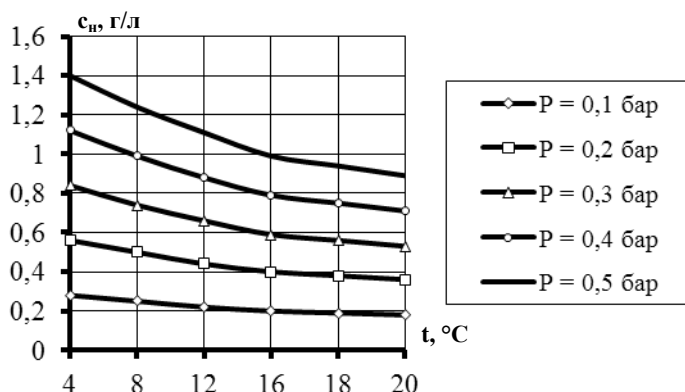


Рис. 4. Графіки залежності сталих насичення води діоксином вуглецю в залежності від температури

$P = 0,1$ МПа маємо $c_{n\text{CO}_2} = 2,4$ $\text{кг}/\text{м}^3$. Звідси витікає, що за відсутності барботажної аерації середовища верхні шари рідинної фази будуть мати вміст CO_2 близький до $2,4$ $\text{кг}/\text{м}^3$, а у глибинних шарах цей показник зростає зі збільшенням гідростатичного тиску. Насичення води діоксидом вуглецю означає підвищення в ній осмотичного тиску, що додатково змінює рушійну силу процесу замочування і сприяє більш швидкому зближенню осмотичних тисків в ній і зернівці.

З цієї точки зору зростання температури середовища означає зниження розчинності CO_2 і відповідно складової осмотичного тиску, що є додатковим чинником дестабілізації динамічних параметрів масообміну.

Наведене значення $c_{n\text{CO}_2} = 2,4$ $\text{кг}/\text{м}^3$ відповідає завершальному етапу замочування, яке вимагає корективу в сторону зменшення за рахунок часткової заміни технологічної води. Тим не менш, наведені міркування приводять до висновку про

доцільність щодо біохімічних, біологічних і масообмінних вимог зниження концентрації розчиненого діоксиду вуглецю. З цієї точки зору подвійний позитивний вплив має перемішування середовища за рахунок аерації. Це пов'язано: по-перше, зі зміною гідростатичних тисків в локальних об'ємах, що змінюють вертикальну координату, по-друге, в процесі аерації відбувається масообмін по CO_2 в газорідному середовищі.

При цьому, в першому випадку має місце зародження газових бульбашок зі створенням додаткової міжфазної поверхні і змінами гідростатичного стану в системі. Енергетичним фундаментом названих явищ є потенціальна енергія розчиненого CO_2 в частині, що стосується впливу гідростатичного тиску на розчинність. Це означає, що за рахунок перемішування середовища концентрацію розчиненого CO_2 можливо знизити лише до рівня, що відповідає рівноважному стану за атмосферного тиску. Подальше зменшення вмісту CO_2 можливе за рахунок аерації середовища.

Висновки і перспективи.

1. Кількість споживаного в процесі дихання кисню спів розмірна з тією кількістю O_2 , яка транспортується водою. Однак відсутність повного балансу вказує на існування дифузійного перенесення кисню через оболонки зернівки. Останнє свідчить про необхідність регулярного поновлення кисню в рідинній фазі за рахунок аерації середовища.

2. Створення зростаючого концентраційного (по CO_2) градієнта в системі “зернівка – середовище” пов'язано зі зростанням фізичного тиску в зернівці за рахунок зволоження, що є наслідком осмомолекулярної дифузії.

3. Показано, що стосовно зернівки мають місце спряжені матеріальні потоки води, кисню, діоксиду вуглецю і тепловий потік. Вказані потоки мають нестационарний характер у зв'язку зі змінами рушійних факторів. Обмеження кількості розчиненого CO_2 може досягатися лише за рахунок аерації.

Список використаних джерел

1. Колотуша П.В. Технологія виробництва пива. Київ : Ін-т системного дослідження освіти, 1993. 235 с.
2. Колотуша П.В. Технологія солоду. Київ : Ін-т системного дослідження освіти, 1993. 136 с.
3. Соколенко А.І., Українець А.І., Піддубний В.А. Транспортно-технологічні системи пивзаводів. Київ : АртЕк, 2002. 304 с.
4. Піддубний В.А. *Інтенсифікація масообміну в умовах перехідних процесів*. Київ : Люксар, 2006. 248 с.
5. Шевченко О.Ю., Добровольська Н.Г. Технологічні аспекти процесів замочування зерна при виробництві солоду. *Харчова промисловість*. 2003. № 2. С. 69-70.
6. Шевченко О.Ю., Українець А.І., Соколенко А.І. Дослідження впливів осмотичних тисків на динаміку бродіння. *Харчова промисловість*. 2005. № 4. С. 136-140.
7. Підлісний В.В. Інтенсифікація масообміну в трубопроводах. *Промислова гідравліка і пневматика*. 2012. №4(38). С. 16-18.
8. Грабовська О.В., Івашкін С.П., Штангеева Н.І. Дослідження замочування зерна в технології кукурудзяного крохмалю : *Харчова промисловість*. Київ : НУХТ. 2003. № 2. С. 26-28.
9. Podlisnyi, V. V. (2015). Obosnovanye protsessa kondytsyonyrovanya vozdukhа s yspolzovanyem systemu retsyrkulyatsyy pry proyzvodstve soloda. *MOTROL : Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. V. 17, is. 5.
10. Xiao Lu Wei, Shuang Ping Liu, Jian Shen Yu, Yong Jian Yu, ...Jian Mao (2017). Innovation Chinese rice wine brewing technology by bi-acidification to exclude rice soaking process. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. Volume 123, Issue 4. 460-465.

Дата надходження статті до редакції : 04.02.2018
Рецензування 03.03.2018 Прийняття в друк: 31.05.2018

Pidlisnyi V.V.¹ PhD

(Techn.), Associate Professor
E-mail : v.pidlisnyj@mail.ru

Semenov O.M.¹

PhD (Techn.), Associate Professor
E-mail : som_s78@ukr.net

Tkach O.V.¹

PhD (Techn.), Associate Professor
E-mail: o_v_tkach@mail.ru

Slawomir Kurpaska²

Sc.D, Professor, dean

Barbara Dziedzic³

¹ Engineering Faculty State Agrarian and Engineering
University in Podilya Kamyanets-Podilskiy, Ukraine

² Faculty of Production Engineering and Energetics.
University of Agriculture in Krakow. Krakow, Poland

³ Department of Commodity Science and Product Management.
Crakow University of Economics. Krakow, Poland

THE SUBSTANTIATION OF THE PECULIARITIES OF BIOCHEMICAL PROCESSES BEHAVIOR IN THE PROCESS OF MALT SOAKING

Abstract

The authors conducted a study to ascertain the balance between the amount of oxygen consumed in the process of grain respiration with such amount of O₂ which is necessary to deliver by water, the presence of an osmodiffusion effect in the processes of soaking and the existence of the diffusion transferring of oxygen through the grains shells.

The growth of moisture in the processes of soaking, which enhances the course of biochemical processes and grain respiration, which by-turn requires the increased oxygen consumption, served the informational base of this study. The paper presents the results of the study on ascertaining of the balance between the amount of oxygen consumed in the process of grain respiration with such amount of O₂ which is necessary to deliver by steeping water, as well as the facts of existence of diffusion transferring of oxygen through the grains shells. The solubility of gases in water and the effect of medium temperature on mass transferring are considered as sources of data.

The research methodology is based on the theoretical developments and scientific tools for the prospects for the intensification of mass exchange streams assessing, as well as the differentiated analysis of the influence of mass transferring processes on the components of the whole set. The necessity of aeration of the environment in additional conditions to the atmospheric hydrostatic pressures is substantiated. The hypotheses, concerning the course of mass transferring processes, are formed in the article, but the lack of a complete balance indicates the existence of other ways of oxygen transporting through the grains shells.

It is proved by means of the correlation-regression model that conjugated material flows of water, oxygen, carbon dioxide are related to grain grains as well as heat flux. The indicated streams are non-stationary in connection with changes in driving factors.

The results of the study show that the solving of the problem of limiting the amount of dissolved CO₂ can only be achieved through aeration.

Keywords: malt, soaking, mass transfer, gas exchange, semipermeable shells

References

1. Kolotusha, P.V. (1993). *Texnologiiia vyrobnytstva pyva*. Kyiv : In-t systemnogo doslidzhennia osvity.
2. Kolotusha, P.V. (1993). *Texnologiiia solodu*. Kyiv : In-t systemnogo doslidzhennia osvity.
3. Sokolenko, A.I., Ukrainets, A.I., & Piddubnyi, V.A. (2002). *Transportno-tehnologichni*

systemy pyvzavodiv. Kyiv : ArtEk.

4. Piddubnyi V.A. (2006). *Intensyfikatsiia masoobminu v umovah perehidnyh protsesiv*. Kyiv : Luksar.
5. Shevchenko O.Yu., & Dobrovolska N.G. (2003). Tehnologichni aspekty protsesiv zamozhuvannia zerna pry vyrobnytstvi solodu. *Harchova promyslovist*, 2, 69-70.
6. Shevchenko, O.Yu., Ukrayinets, A.I., & Sokolenko, A.I. (2005). Doslidzhennia vplyviv osmotychnykh tyskiv na dynamiku brodinnya. *Harchova promyslovist*, 4, 136-140.
7. Pidlisnyi, V.V. (2012). Intensyfikatsiia masoobminu v truboprovodah. *Promyslova gidravlika i pnevmatyka*, 4(38), 16-18.
8. Grabovska, O.V., Ivashkin, S.P., & Shtangeieva, N.I. (2003). Doslidzhennia zamochuvannia zerna v tehnologii kukurudzianogo krohmaliu. *Harchova promyslovist*, 2, 26-28.
9. Pidlisnyi, V. V. (2015). Obosnovanye protsesa kondytsyonyrovanyia vozdukhа s yspolzovanyem systemu retsykuliatsyy pry proyzvodstve soloda. *MOTROL : Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. V. 17, is. 5.
10. Xiao Lu Wei, Shuang Ping Liu, Jian Shen Yu, Yong Jian Yu, ...Jian Mao (2017). Innovation Chinese rice wine brewing technology by bi-acidification to exclude rice soaking process. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 123 (4), 460-465.

Received: February 04, 2018

Revision: March 03, 2018 Accepted: May 31, 2018