

Висновок. Досліджено динаміку адсорбції іонів купруму цеолітом в апараті колонного типу в залежності від висоти шару сорбента. Побудовано вихідні криві динаміки адсорбції іонів купруму цеолітом в апараті колонного типу. Встановлено взаємозв'язок ступеня насичення сорбенту від критерію Фур'є. Для оцінки впливу способу реалізації процесу проведено дослідження дифузії іонів купруму в нерухомому шарі інертного матеріалу в статичних умовах за умов постійної концентрації досліджуваного компонента. Було встановлено, що значення коефіцієнту дифузії добре розчинного компоненту, розраховане за теоретичними залежностями, по різні напрямки осі Z, тобто у вертикальному напрямі відрізняється на п'ять порядків, а при порівнянні коефіцієнтів дифузії компоненту у від'ємному напрямі осі Z (вниз) та у напрямі осі Y на порядок.

Література

1. Natural zeolite — clinoptilolite identification / Kuliyeva T.Z. et.al. //Fizika. 2009. №3. P. 43–45
2. Сабадаш В.В., Гумницький Я.М., Венгер Л.О. Експериментальне визначення кінетичних коефіцієнтів міграції мінеральних речовин за профілем ґрунту // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” Хімія, технологія речовин та їх застосування. № 667. 2010. С. 299-303.
3. Гумницький Я.М., Сабадаш В.В., Венгер Л.О. Дослідження міграції мінеральних речовин у ґрунтовому середовищі за постійної концентрації Венгер // Вісник НУ “Львівська політехніка” Хімія, технологія речовин та їх застосування 2009. № 644. С.192-195.
4. Гивлюд А.М., Сабадаш В.В., Гумницький Я.М. Проблема очищення стічних вод молокопереробних підприємств // Наук. пр. / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса, 2016. Т.80, вип. 1. С. 126-131.
5. Фролов Ю.Г. Курс колоїдної хімії. Поверхневі явища і дисперсні системи. К.: Вища школа. 1988. 464 с.
6. Сидорчук О. В., Гумницький Я. М. Сорбція іонів купруму із водних розчинів природним кліноптилолітом // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. 2013. № 7. С. 235-241.

References

1. Kuliyeva, T. Z., Lebedeva, N. N., Orbuh V. I., Sultanov Ch. A., (2009). “Natural zeolite — clinoptilolite identification”, *Fizika*, 3, 43–45.
2. Gumnitsky, Ya. M., Sabadash, V.V., Venher, L.O. (2009), “The study of migration of minerals in the soil environment at a constant concentration”, *Visnyk Natsional'nogo universytetu "Lviv'ska politekhnika". Seriya "Khimiya, tehnologiya rechovy'n ta yih zastosuvannya"*, 644, 192-195.
3. Sabadash, V.V., Gumnitsky, Ya. M., Venher, L.O. (2010). “Experimental determination of kinetic coefficients of migration of mineral substances by the soil profile”, *Visnyk Natsional'nogo universytetu "Lviv'ska politekhnika". Seriya "Khimiya, tehnologiya rechovy'n ta yih zastosuvannya"*, 667, 299-303.
4. Hyvlyud, A.M., Sabadash, V.V., Gumnitsky, Ya. M. (2016). “Problem of wastewater treatment of dairy plants”, *Naukovi pratsi ONAKhT*, 80 (1), 126–131.
5. Frolov, Yu.G. (1988)ю *Kurs koloyidnoyi khimiyi. Poverkhnevi yavyscha i dyspersni systemy* [Course of Colloid Chemistry. Surface phenomena and disperse systems], Vyshcha shkola, Kyiv, Ukraine, 464.
6. Sydorchyk, O. V., Gumnitsky, Ya. M. (2013). “Sorptions of copper ions from aqueous solutions by natural clinoptilolite”, *Visnyk Lvivskogo derzhavnogo universytetu bezpeky zhyttyediyalnosti*, 7, 235-241.

УДК 628.54

ПОГЛИНАННЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ІЗ СУМІШІ ПОВІТРЯ З ДІОКСИДОМ СІРКИ

Дячок В. В. д. т. н, професор, Гуглич С. І. к. т. н, доцент,
Катишева В. В. аспірант, Мандрик С. Т. магістр
Національний університет “Львівська Політехніка”

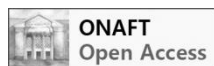
REFILL OF SUGAR GAS FROM MIXTURES WITH DIOXIDE

Deacock V. V. D.N., Professor, Guglich S. I., Ph.D., Associate Professor,
Katsysheva V. V. postgraduate student, Mandryk S. T. student
National University "Lviv Polytechnic"

Copyright © 2017 by author and the journal “Scientific Works”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Анотація. Сучасні технології потребують новітніх процесів утилізації, проте більшість із них також дають відходи, які не завжди легко утилізуються. Натомість усі процеси, що відбуваються у живій природі, є циклічними і добре збалансованими. Перетворення речовини в екосистемах реалізується шляхом кругообігу – відходи одних процесів використовуються в інших біологічних процесах.

Типовим прикладом таких процесів, може бути трансформація вуглекислого газу у біомасу із застосуванням фотосинтезу у промислових умовах. Проте, промислові газові викиди окрім вуглекислого газу завжди містять певну кількість діоксиду сірки. Тому важливо досліджувати вплив цього компоненту на про-

цеси фотосинтезу. Водорості, як і інші зелені рослини поглинають вуглекислий газ, а також невелику кількість мінеральних речовин перетворюючи його у біомасу. На відміну від наземних рослин вони ростуть у 7-10 разів швидше і відповідно «нейтралізують» більше вуглекислого газу та володіють здатністю адаптуватися у край несприятливих умовах. Ці властивості мікрководоростей є об'єктивною умовою для впровадження таких технологій з метою очищення промислових газових викидів від вуглекислого газу.

Представлені результати експериментальних досліджень вивчення динаміки поглинання вуглекислого газу із повітря хлорофілсинтезуючими мікрководоростями за умови присутності в ньому діоксиду сірки. Теоретично обґрунтовано на основі теорії Лайнуївера-Берка та експериментально доведено наявність неконкурентного, зворотного, ініціювання діоксиду сірки у процесі фотосинтезу. Приведено математичний опис приросту клітин мікрководоростей та в результаті обробки експериментальних даних визначені коефіцієнти приросту біомаси мікрководоростей за певних значень концентрації інгібітора. На основі отриманих значень виведено аналітичну залежність коефіцієнту приросту біомаси від вмісту інгібітора. Встановлено максимальне значення концентрації діоксиду сірки за якого може відбуватись фотосинтез та приріст біомаси мікрководоростей.

За таких обставин доведена можливість керування технологіями очищення промислових газових викидів з використанням хлорофілсинтезуючих мікрководоростей, як основний біологічний об'єкт трансформування вуглекислого газу у джерело енергії.

Abstract. *Modern technologies demand the latest recycling processes, but most of them also provide waste which is not always easy to dispose of. But all the processes occurring in nature are cyclical and well-balanced. The transformation of matter in ecosystems is realized by the cycle – the waste of one process are used in other biological processes.*

A typical example of such process can be the transformation of carbon dioxide into biomass using photosynthesis in an industrial environment. However, the industrial gas emissions include not only carbon dioxide but sulfur dioxide. That's why it is very important to research the influence of this component on the process of photosynthesis. Algae like other green plants need carbon dioxide and a small amount of minerals for increasing their biomass. They grow 7-10 times faster than terrestrial plants and thus «kill» more carbon dioxide and have the ability to adapt to unfavorable conditions. These properties of microalgae are the objective condition for the introduction of such processes in order to eliminate CO₂ from industrial gas emissions.

The results of experimental research to study the dynamics of absorption of carbon dioxide gas from microalgae provided the presence of sulfur dioxide in it. The presence of non-competitive reverse inhibition by sulfur dioxide in the process of photosynthesis based on the Lineweaver-Burk theory was theoretically justified and experimentally proved. The mathematical description of the growth of the cells of the microalgae is given and as a result of processing experimental data the growth rates of the algae at certain values of inhibitor concentration was defined. Based on the obtained values the analytical dependence of growth rate of biomass from the substance of inhibitor was deduced. The maximum value of concentration of sulphur dioxide which may occur photosynthesis and biomass growth of microalgae was set.

In such circumstances, proven ability to manage technology treatment of industrial gas emissions using microalgae chlorophyll synthesizing as basic biological object transform carbon dioxide into energy.

Ключові слова: фотосинтез, вуглекислий газ (CO₂), діоксид сульфору (SO₂), мікрководорості, дифузія, математична модель, кінетика, ферментагивний каталіз, інгібітор.

Keywords: photosynthesis, sulfur dioxide (SO₂), microalgae, diffusion, mathematical model, kinetics, enzymatic catalysis, inhibitor.

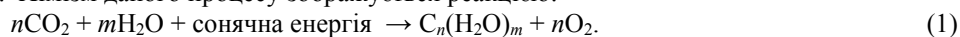
Формулювання проблеми. Добре відомо, що переважна більшість створених сучасною цивілізацією технологій є незамкненими процесами, які утворюють певні відходи. Шкідливість і небезпечність тієї чи іншої технології для навколишнього середовища визначаються насамперед кількістю та природою речовин, які є побічним продуктом – відходами технологічного процесу. Питання «що робити з відходами?» стоїть дуже гостро. Сучасні технології їх утилізації потребують усе нових і нових жорстких процесів утилізації, проте більшість із них також дають відходи, які не завжди легко утилізуються. Натомість усі процеси, що відбуваються у живій природі, є циклічними і добре збалансованими.

Перетворення речовини в екосистемах реалізується шляхом кругообігу – відходи одних процесів використовуються в інших біологічних процесах. Яскравим прикладом подібної збалансованості можуть бути біосферні цикли вуглецю, кисню, азоту та інших біогенних елементів. Надзвичайна збалансованість природних екосистем, високий рівень кореляції внутрішньоекосистемних біотичних процесів дають людині переконливий доказ їх ефективності, підказують шляхи запозичення у живої природи елементів і принципів, що стають основою для проектування обладнання та розроблення майбутніх екотехнологій. Технології, які по-

будовані за екологічними принципами і базуються на зведенні до мінімуму негативного впливу на довкілля, слід вважати екологічнобезпечними технологіями або екотехнологіями. У тих випадках, коли згаданих принципів дотримуються, а технологічний процес побудований на використанні тих чи інших живих організмів, доцільно вести мову про виникнення та існування напрямку в екології – біологічного очищення, а технології, що застосовуватимуться – екобіотехнології [2].

Біологічне очищення, як відомо, базується на здатності мікроорганізмів включати в схеми метаболізму найрізноманітніші хімічні сполуки – забрудники. Розкладання забрудників відбувається під дією ферментів, що виробляються мікроорганізмами в середовищі забрудників, які підлягають усуненню. До біологічного очищення газових викидів від вуглекислого газу можна віднести фотосинтез [1-2].

Фотосинтез – унікальний у фізико-хімічному відношенні процес, який збільшує вільну енергію біосфери за рахунок зовнішнього джерела – Сонця та забезпечує існування як рослин, так і усіх гетеротрофних організмів, у тому числі й людину. Зараз важко, а то і зовсім неможливо знайти будь-які природні явища, які не поєднані з фотосинтезом. Фотосинтез сприяє зменшенню вуглекислого газу. Рослини засвоюють із повітря діоксид карбону та будують з нього свою біомасу. Водорості, як і інші зелені рослини потребують вуглекислий газ, а також невелику кількість мінералів для приросту біомаси. На відміну від наземних рослин вони ростуть у 7-10 разів швидше та відповідно «нейтралізують» більше вуглекислого газу та володіють здатністю адаптуватися у край несприятливих умовах. Такі властивості мікрободоростей є об'єктивною умовою для впровадження таких технологічних процесів у практику з метою очищення промислових газових викидів від вуглекислого газу. Хімізм даного процесу зображується реакцією:



Основною умовою фотосинтезу є присутність молекул вуглекислого газу, продукту спалювання твердого, рідкого чи газоподібного палива. Проте у таких продуктах спалювання, завжди містяться й інші оксиди, зокрема діоксид сульфуру. Присутність діоксид сульфуру у продуктах спалювання, промислових газових викидах, зумовлена присутністю сполук сірки у природних покладах палива. За своєю будовою молекули SO_2 та CO_2 подібні, а тому, є припущення, що на етапі транспортування у внутрішній об'єм клітини мікрободорості, не завжди система їх розрізняє. Потрапивши у внутрішній об'єм клітини мікрободорості, на етапі фотосинтезу, молекули SO_2 блокують процес фотосинтезу. Відтак, існує необхідність дослідження процесу очищення промислових газових викидів за участі хлорофілсинтезуючих мікрободоростей в присутності SO_2 , що адекватно вивченню впливу діоксиду сірки на процес фотосинтезу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що в літературі мало міститься матеріалів присвячених вивченню впливу діоксиду сірки на процеси поглинання вуглекислого газу, тому є важливим детальніше дослідити його вплив на фотосинтез хлорофілсинтезуючих мікрободоростей.

Мета роботи полягає у вивченні впливу діоксиду сірки на процеси фотосинтезу, що адекватно вивченню впливу SO_2 на приріст біомаси хлорофілсинтезуючих мікрободоростей.

Теоретична частина. У внутрішньому середовищі клітини мікрободоростей безперервно відбувається складний процес біохімічних перетворень, який називається фотосинтезом. У чіткій послідовності з великою швидкістю проходять численні біохімічні реакції. Швидкість реакцій та їхня послідовність визначаються наявністю специфічних ферментів – каталізаторів.

Механізм дії ферментів полягає у тому, що вони утворюють з речовиною-субстратом специфічний фермент-субстратний комплекс. Приєднання субстрату до ферменту відбувається у зоні каталітичного центру, який і сприяє перебігу біохімічної реакції. Внаслідок біохімічної еволюції каталітичний центр набуває такої структури та просторової конфігурації, яка дає змогу взаємодіяти лише з певною речовиною-субстратом [3-4].

Речовини, що здатні гальмувати ферментативні реакції, називають інгібіторами. В процесі вивчення впливу інгібіторів на ферментативні реакції була одержана інформація щодо субстратної специфічності ферментів, природи функціональних груп, що входять до складу активного центру ферментів, механізму дії ферментів та участі певних функціональних груп у підтримці специфічної конформації молекули ферменту. Інгібування різних ферментів специфічними клітинними компонентами є одним із факторів, що регулюють процес ферментативних реакцій у клітині. Таким клітинним компонентом на нашу думку виступає діоксид сірки, який проникаючи через клітинну мембрану у внутрішнє середовище клітини мікрободорості виконує роль інгібітора.

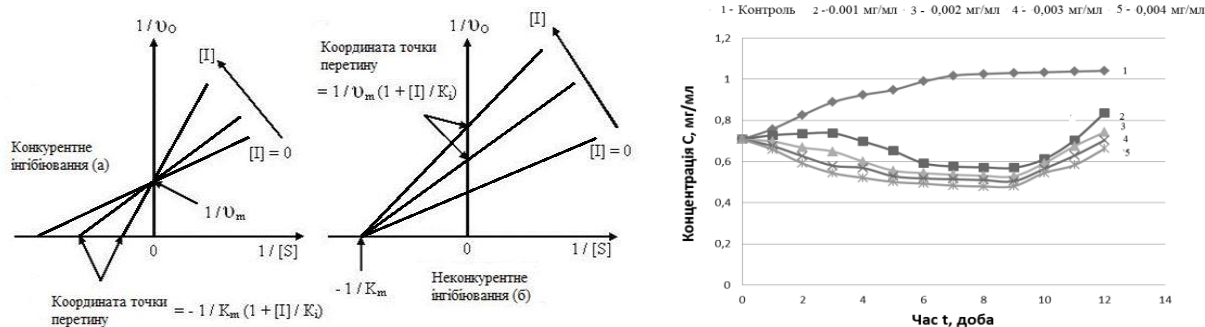
Інгібітори, які знижують активність ферментів за умови взаємодії з тими самими функціональними групами активних центрів, що й субстрати, називають конкурентними. Інгібітори, які знижують активність ферментів за умови взаємодії з іншими функціональними групами, називаються неконкурентними. Конкурентне інгібування можна послабити або зовсім усунути підвищенням концентрації субстрату. На неконкурентне інгібування концентрація субстрату не впливає.

Конкурентне інгібування легше всього виявити, побудувавши графіки Лайнуівера – Берка, тобто графіки в координатах $1/v$ від $1/[S]$ за різних концентрацій інгібітора. Для дійсного конкурентного інгібування - це прямі лінії, що відрізняються між собою тангенсом кута нахилу та перетинають вісь ординат в одній точці (рис. 1 а). Наявність конкурентного інгібітора не змінює максимального значення швидкості реакції V_{max} . У присутності конкурентного інгібітора уявна величина константи Міхаеліса K_m більша, ніж її значення на величину, що дорівнює різниці в довжині відрізків, які відсікаються на осі абсцис.

За графіком Лайнуівера-Берка, побудованого для різних концентрацій інгібітора, можна зробити висновок про те, що неконкурентний інгібітор знижує значення V_{max} , тоді як величина K_m залишається сталою (рис. 1 б) [3].

Експериментальна частина. Об'єктом даних досліджень була культура зелених мікроводоростей – *Chlorella*. Її культивували протягом 12 діб у чотирьох ємкостях об'ємом $1,5 \text{ дм}^3$. Базове живильне середовище містило рівну кількість інокулянту із культурою мікроводоростей *Chlorella vulgaris*. Живильні речовини - вуглекислий газ та елементи мінерального живлення клітини водорості отримують безпосередньо з навколишнього рідкого середовища, засвоюючи їх всією своєю поверхнею. Для дослідження впливу інгібування у першу посудину було введено діоксиду сірки до концентрації $0,001 \text{ мг/мл}$, у другу – $0,002 \text{ мг/мл}$, у третю – $0,003 \text{ мг/мл}$, а у четверту – $0,004 \text{ мг/мл}$. Приріст біомаси хлорофілсинтезуючих мікроводоростей, за таких умов визначали фотокolorиметричним методом з використанням синього світлофільтра згідно закону Бугера-Ламберта-Бера. Оскільки оптична густина пропорційна концентрації мікроводоростей, то одержані експериментальні дані накопичення біомаси мікроводоростей в залежності від часу в межах досліджуваної концентрації інгібітора (SO_2) відповідають значенням оптичних густин [7].

На основі результатів експериментальних досліджень та розрахункових величин було отримано графічні залежності зміни концентрації мікроводоростей від часу за різних значень діоксиду сірки в розчині при одноразовому введенні (рис. 2.). Аналізуючи дані (рис. 2.) слід зазначити, що концентрація клітин мікроводоростей суттєво залежить від вмісту інгібітора (SO_2) в порівнянні з контролем. Із зростанням концентрації інгібітора зменшується приріст маси мікроводоростей, водночас спостерігається збільшення маси клітин мікроводоростей в контрольній ємності, яка не зазнала впливу інгібітора.



а – конкурентного; б – неконкурентного

Рис. 1. Графік Лайнуівера – Берка для інгібування за літературними даними [3].

Згідно отриманих експериментальних даних діоксид сірки суттєво впливає на кінетику приросту мікроводоростей, а тому слід припустити, що (SO_2) виступає в ролі інгібітора. Тому важливо було встановити інгібування є конкурентним чи неконкурентним. Для цього згідно отриманих експериментальних даних було побудовано графік Лайнуівера-Берка в координатах $1/S$ від $1/V$ (рис. 3).

Порівнюючи дані літератури теорії, графік Лайнуівера-Берка (рис. 1.) з експериментально одержаним графіком (рис. 3.) слід зауважити схожість отриманих прямих з прямими на (рис. 1. (б)), тому є підставою вважати, що має місце неконкурентне інгібування, тобто інгібітор приєднується до ферменту не в активному центрі, де зв'язується субстрат, а в іншому місці молекули. За таких умов конформація молекули ферменту змінюється таким чином, що відбувається зворотна інактивація його каталітичного центру. Неконкурентний інгібітор (SO_2) зв'язується зворотно, як з вільним ферментом, так і в фермент-субстратному комплексі, утворюючи неактивні комплекси.

Рис. 2. Зміна концентрації клітин мікроводоростей в часі за відповідних значень концентрації інгібітора.

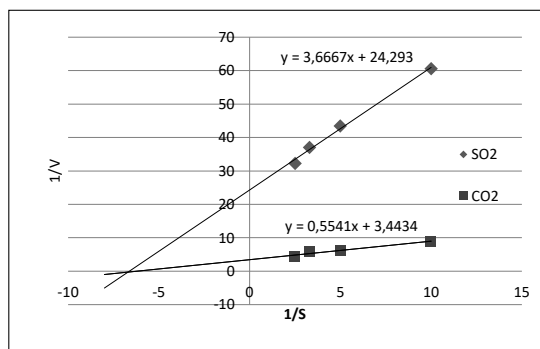


Рис. 3. Графік Лайнуївера-Берка для визначення типу інгібування SO₂.

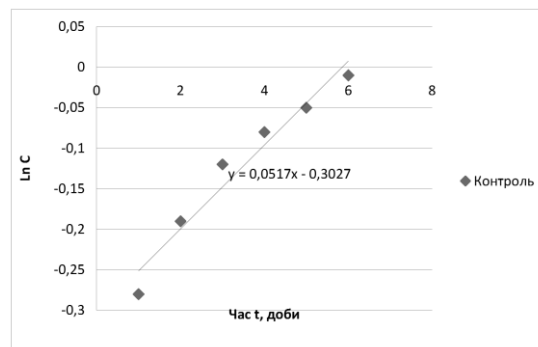


Рис. 4. Залежність зміни логарифму концентрації клітин мікробдоростей від часу.

За допомогою цього ж графіка (рис. 3), побудованого за різних значень концентрацій інгібітора (SO₂), визначаємо відрізок, що відсікає пряма від осі ординат та відповідає величині $1/V_{\max}$, а продовження прямої відсікає на осі абсцис відрізок, що рівний $-1/K_m$. Звідси обчислене значення K_m та V_{\max} за умови присутності інгібітора (SO₂) становить $K_m = 0,16$ мг/мл, а $V_{\max} = 0,041$ мг/мл·доба, для контрольного дослідження визначено $K_m = 0,16$ мг/мл, а $V_{\max} = 0,29$ мг/мл·доба.

За таких обставин, слід припустити, що зміна чисельності клітин мікробдоростей за одиницю часу в умовах експерименту визначається кількістю народжених та відмерлих за цей час клітин:

$$\frac{dC}{dt} = (\gamma - \delta) C, \quad (1)$$

або

$$\frac{dC}{dt} = \mu C \quad (2)$$

де $\mu = (\gamma - \delta)$, γ - коефіцієнт розмноження; δ - коефіцієнт відмирання;

В момент часу $t = 0$ чисельність клітин мікробдоростей $C = C_0$. Розв'яжемо диференціальне рівняння проінтегрувавши обидві його частини:

$$\int_{C_0}^C \frac{dC}{C} = \int_0^t \mu dt, \quad (3)$$

звідки

$$C = C_0 e^{\mu t} \quad (4)$$

Дане рівняння в логарифмічних координатах дозволяє визначати коефіцієнт приросту $-\mu$.

$$\ln \frac{C}{C_0} = \mu t \quad (5)$$

Аналізуючи експериментальні дані досліджень представлені на рис. 2, можемо стверджувати, що графічно розв'язок (4) представляється кривою 1:

Після підстановки експериментальних даних у рівняння (5) отримуємо графічну залежність (рис. 4), яка дозволяє визначати коефіцієнт приросту. Швидкість розмноження більше швидкості відмирання.

Тобто при концентрації інгібітора $x=0$, чисельність клітин мікробдоростей необмежено зростає з часом і коефіцієнт приросту становить $\mu = 0,0517$ доба⁻¹, (рис. 4).

Криві 2,3,4,5 на рис. 2 описуються рівнянням (6);

$$C = C_0 e^{-\mu t} \quad (6)$$

Швидкість відмирання клітин більша швидкості розмноження. Таким чином, при значенні концентрацій інгібітора $x=0,001$ мг/мл; 0,002 мг/мл; 0,003 мг/мл; 0,004 мг/мл чисельність особин з часом спадає, а коефіцієнти приросту є меншими нуля $\mu < 0$. Значення коефіцієнту приросту визначали при відповідних концентраціях інгібітора за допомогою графічної залежності (рис. 5).

Нарешті має бути така концентрація інгібітора, за якої приріст є величиною постійною. Тобто $\mu = 0$. Значення цієї концентрації стане можливим визначити, якщо побудувати графічну залежність $\mu=f(x)$. Для цього використовуючи отримані результати обчислення коефіцієнту приросту за певних значень концентрацій інгібітора, та отримуємо криву, яка описується наступною аналітичною залежністю (7) рис. 6:

$$\mu = 0,0022x^4 - 0,0331x^3 + 0,1833x^2 - 0,4434x + 0,3427 \quad (7)$$

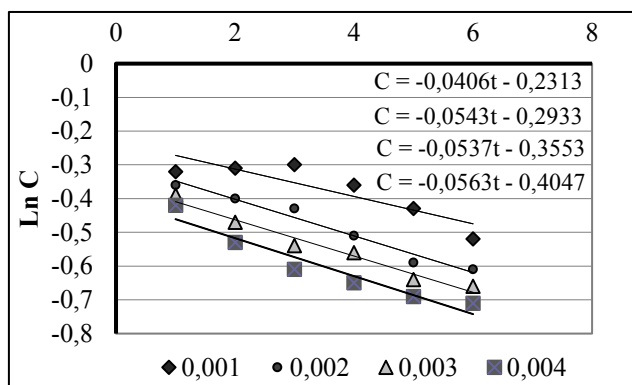


Рис. 5. Залежність зміни логарифму концентрації клітин від часу (при відповідних концентраціях інгібітора).

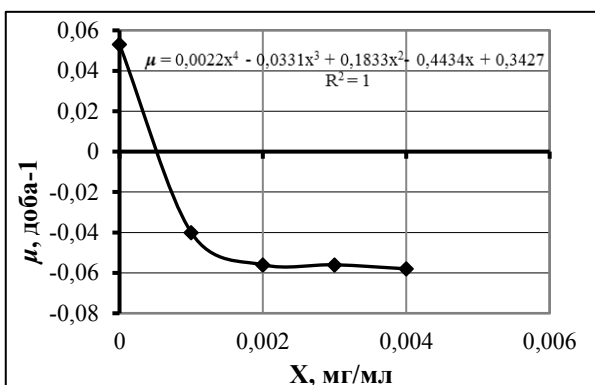


Рис. 6. Графік залежності коефіцієнту приросту від концентрації інгібітора.

Рівняння (7) вирішували за допомогою комп'ютера та знаходили значення концентрації діоксиду сірки при якому $\mu = 0$. Це значення становить 0,00045 мг/мл. Це максимальна концентрація діоксиду сірки у середовищі культивування, при якому проходить процес фотосинтезу, тобто має місце поглинання CO_2 та постійний приріст біомаси мікроборостей. За таких умов чисельність мікроборостей не змінюється, залишається на початковому рівні. При менших значеннях концентрацій SO_2 розрахованого за рівнянням (7) можливий приріст біомаси мікроборостей та відповідно інтенсивніше поглинання CO_2 . Зазначимо, що при цьому $\mu > 0$ і модель адекватна до реального процесу лише до певного значення часу.

Висновки. Вивчено вплив діоксиду сірки на процес поглинання вуглекислого газу хлорофілсинтезуючими мікроборостями. Теоретично обґрунтовано на основі теорії Лайнуївера-Берка та експериментально доведено наявність неконкурентного інгібування діоксидом сірки процесу фотосинтезу хлорофілсинтезуючими мікроборостями. Отримана аналітична залежність коефіцієнту приросту мікроборостей від концентрації діоксиду сірки в середовищі культивування мікроборостей. Встановлено співвідношення $\text{CO}_2 : \text{SO}_2$ за якого може проходити фотосинтез та приріст біомаси мікроборостей. Розраховані значення допустимих концентрацій діоксиду сірки в середовищі культивуванні мікроборостей підтверджено експериментально.

Література.

1. Дячок В.В., Гуглич С.І., Левко О.Б. Вивчення впливу температури на кінетику поглинання вуглекислого газу мікроборостями // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Хімія, технологія речовин та їх застосування. 2015. № 812. С. 365-372.
2. Стеценко О. В., Виноградова Р. П. Біоорганічна хімія. К.: Вища школа. 1992. 278 с.
3. Губський Ю. І. Біологічна хімія. К.: Нова книга. 2007. 137 с.
4. Перспективи використання мікроборостей у біотехнології / Золотарьова О.К. та ін. К.: Альтерпрес, 2008. 234 с.
5. Сировинні джерела продуктів біотехнології та їх аналіз : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. [Текст] / Кисличенко В.С. та ін. Х.: НФаУ : Золоті сторінки, 2009. 304 с.
6. Dyachok V., Ilkiv I. The mechanism of extraction from solid bodies cellular structure // Chemistry & chemical technology, 2013. Vol. 7, № 1. P. 23-27.
7. Dyachok V. About the problem of biological processes complicated by mass transfer / Dyachok V. et.al.// Chemistry & chemical technology, 2017. Vol. 11, №1. P. 111-116
8. Yang Y., Gao K. Effects of CO_2 concentrations on fresh water microalgae *Chlamydomonas reinhardtii*, *Chlorella pyrenoidosa* and *Scenedesmus obliquus* (chlorophyta) // Journal of applied Phycology. 2003. № 00. P. 1-11.
9. 2.3 carbon dioxide sequestration using microalgae systems / Stepan D. J. et.al. // Energy and Environmental Research Center, University of North Dakota. 2002. № 1. P.1-27
10. Miyachi S., Iwasaki I., Shiraiwa Y. Historical perspective on microalgal and cyanobacterial acclimation to low- and extremely high- CO_2 conditions // Photosynthesis Research. 2003. № 77. P. 139-153.

References

1. Dyachok V. V., Huhlych S. I., Levko O. B. (2015). Vyvchennia vplyvu temperatury na kinetyku poglynnannya vuglekyslogo gazu mikrovodorostyamy, 812, 365-372.

2. Stecenko O. V. Vynogradova R.P. (1992). Bioorganichna ximiya. K.: Vyshcha shkola, 278.
3. Gubs'kyj Yu. I. Biologichna ximiya. (2007). K.: Nova Knyga. 137.
4. Zolotar'ova O.K., Shnyukova Ye.I., Syvash O.O., Myxajlenko N.F. (2008). Perspektyvy vykorystannya mikrovdorostej u biotexnologiyi. K.: Al'terpres. 234.
5. Ky'sly'chenko, V.S. Zhuravel I.O., Buxarina O.V. ta in. (2009) Syrovynni dzherela produktiv biotexnologiyi ta yix analiz : navch. posib. dlya stud. vyshh. navch. zakl. X. : NFaU : Zoloti storinky, 304.
6. Dyachok, V., Ilkiv I. (2013) The mechanism of extraction from solid bodies cellular structure, 7,1, 23-27.
7. Dyachok V., Huhlych S., Yatchyshyn Y., Zaporochets Y., Katysheva V. (2017) About the problem of biological processes complicated by mass transfer. 11,1, 111-116.
8. Yang, Y. , Gao K. (2003) Effects of CO₂ concentrations on fresh water microalgae Chlamydomonas reinhardtii, Chlorella pyrenoidosa and Scenedesmus obliquus (chlorophyta), 00, 1-11.
9. Stepan, D. J. Shockey R. E., Moe T. A., Dorn R. I. (2002) 2.3 carbon dioxide sequestration using microalgae systems, 1, 1-27.
10. Miyachi S., Iwasaki I., Shiraiwa Y. (2003) Historical perspective on microalgal and cyanobacterial acclimation to low- and extremely high-CO₂ conditions, 77, 139-153.

УДК 532.528:66.061

ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЕКСТРАКТУ ЧИСТОТІЛУ

Гоженко Л. П., к. т. н., Коник А. В. к. т. н., Радченко Н. Л. к. т. н., Целень Б. Я., к. т. н.,
Недбайло А. Є. к. т. н.

Інститут технічної теплофізики НАН України

APPLICATION ENERGY-EFFICIENT EQUIPMENT FOR OBTAINING CELANDINE EXTRACT

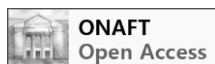
Hozhenko L. Ph.D., Konyk A. Ph.D., senior researcher, Radchenko N. Ph.D., senior researcher,
Tselen B. Ph.D., senior researcher, Nedbailo A. Ph.D.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine

Copyright © 2017 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Анотація. Статтю присвячено застосуванню потужних кавітаційних механізмів, які на сьогодні є одним з найбільш діючих способів досягнення високих енергетичних показників у технологіях обробки рідинних дисперсних середовищ. На базі літературного огляду встановлено, що застосування кавітаційних пристроїв дозволяє радикально впливати на характер протікання тепломасообмінних, гідродинамічних, хімічних та біофізичних процесів на мікро- та нанорівнях. Описано принцип роботи розробленого в Інституті технічної теплофізики НАН України кавітаційного реактора пульсаційного типу для екстракції рослинної сировини. Проаналізовано основні динамічні ефекти, які інтенсифікують процеси гідродинаміки і тепломасообміну в пульсаційному апараті. Представлено результати експериментальних досліджень водної екстракції чистотілу при застосуванні кавітаційного механізму. Обґрунтовано та встановлено раціональний ступінь подрібнення трави чистотілу для подальшої обробки в апараті пульсаційного типу. Наведено фізико-хімічні параметри водного екстракту чистотілу залежно від температурних режимів обробки. Визначено залежності солемісту, електропровідності, окисно-відновного потенціалу, водневого показника водної системи (рН), кількості сухих речовин в отриманому екстракті від тривалості кавітаційної обробки. Встановлено, що кавітаційний вплив на середовище приводить до зниження окисно-відновного потенціалу водної системи пропорційно зниженню імпульсів тиску. На основі отриманих результатів досліджень процесу кавітаційної екстракції чистотілу показано, що застосування кавітаційного реактора пульсаційного типу забезпечує максимальний вихід цільових компонентів за короткий час при порівняно низьких температурах. Надано рекомендації щодо температурних режимів процесу екстракції трави чистотілу за умови ініціювання кавітаційних механізмів при оптимальних технологічних параметрах процесу і режимах роботи пульсаційного апарата. Проведено оцінювання ефективності процесу екстракції в кавітаційному реакторі пульсаційного типу та доведено його енергоефективне застосування в різних галузях промисловості. Встановлено, що найбільш економічно доцільною сферою застосування дослідженого екстракту чистотілу, отриманого в кавітаційному реакторі пульсаційного типу, є косметична промисловість.