

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

VI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІННОВАЦІЙНІ
ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ»**



ОДЕСА

2017

Публікуються доповіді, представлені на VI Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні енерготехнології» (4 – 8 вересня 2017 р.) і присвячені актуальним проблемам підвищення енергоефективності в сфері АПК, харчових та хімічних виробництвах, розробки та впровадження ресурсо-та енергоефективних технологій та обладнання, альтернативних джерел енергії.

Редакційна колегія:

доктор техн. наук, професор

О.Г. Бурдо

Ю.О. Левтринська

Е.Ю. Ананійчук

О.В. Катасонов

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

- Єгоров**
Богдан Вікторович – голова, Одеська національна академія харчових технологій, ректор, д.т.н., професор
- Бурдо**
Олег Григорович – вчений секретар, Одеська національна академія харчових технологій, д.т.н., професор
- Атаманюк**
Володимир Михайлович – Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор
- Васильєв**
Леонард Леонідович – Інститут тепло- і масообміну ім. А.В. Ликова, Республіка Білорусь, д.т.н., професор
- Гавва**
Олександр Миколайович – Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
- Гумницький**
Ярослав Михайлович – Національний університет „Львівська політехніка”, д.т.н., професор
- Долинський**
Анатолій Андрійович – Інститут технічної теплофізики, почесний директор, д.т.н., академік НАНУ
- Зав’ялов**
Владимир Леонідович – Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
- Керш**
Владимир Яковлевич – Одеська державна академія будівництва та архітектури, д.т.н., професор
- Колтун**
Павло Семенович – Technident Pty. Ltd., Australia, Dr.
- Корнієнко**
Ярослав Микитович – Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
- Малежик**
Іван Федорович – Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
- Михайлов**
Валерій Михайлович – Харківський державний університет харчування та торгівлі, д.т.н., професор
- Паламарчук**
Ігор Павлович – Вінницький національний аграрний університет, д.т.н., професор
- Снежкін**
Юрій Федорович – Інститут технічної теплофізики, директор, д.т.н., член-кор. НАНУ
- Сорока**
Петро Гнатович – Український державний хіміко-технологічний університет, д.т.н., почесний професор
- Тасімов**
Юрій Миколайович – Віце-президент союзу наукових та інженерних організацій України
- Товажнянський**
Леонід Леонідович – Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
- Ткаченко**
Станіслав Йосифович – Вінницький національний технічний університет, г. Вінниця, д.т.н., професор
- Ульєв**
Леонід Михайлович – Національний технічний університет Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
- Черевко**
Олександр Іванович – Харківський державний університет харчування та торгівлі, ректор, д.т.н., професор
- Шит**
Михайл Львович – Інститут енергетики Академії Наук Молдови, к.т.н., в.н.с.

ПОГЛИНАННЯ ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ ІЗ СУМІШІ ПОВІТРЯ З ДІОКСИДОМ СУЛЬФУРУ

Дячок В. В. д-р. техн. наук, професор, Гуглич С. І. канд. техн. наук, доцент,
Катишева В. В. аспірант, Мандрик С. Т. магістр
Національний університет "Львівська Політехніка", м. Львів

EXTRACTION OF SUGAR GAS FROM MIXTURES WITH DIOXIDE SULFUR

Deacock V.V. Dr. Tech. Sciences, professor,
Guglich S.I. Cand. Tech. Sciences, associate professor
Katysheva V.V. postgraduate student, Mandryk S.T., master's degree
National University "Lviv Polytechnic", Lviv

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 компонента на процеси 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 мікрободоростей 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 мікрободоростями за умови присутності в ньому діоксиду сірки. Теоретично обґрунтовано на основі теорії Лайнуївера-Берка та експериментально доведено наявність неконкурентного, зворотнього, інгібування діоксиду сірки у процесі фотосинтезу. Приведено математичний опис приросту клітин мікрободоростей та в результаті обробки експериментальних даних визначені коефіцієнти приросту біомаси мікрободоростей 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 мікрободоростей.

За таких обставин доведена можливість керування технологіями очищення промислових газових викидів з використанням хлорофілсинтезуючих мікрободоростей, 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 important to reserch 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 chlorofilsyntezyuchyh as basic biological object transform carbon dioxide into energy.

Ключові слова: фотосинтез, вуглекислий газ (CO₂), діоксид сульфуру (SO₂), мікроводорості, дифузія, математична модель, кінетика, ферментативний каталіз, інгібітор.

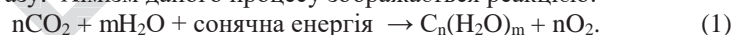
Keywords: photosynthesis, sulfur dioxide (SO₂), microalgae, diffusion, mathematical model, kinetics, enzymatic catalysis, inhibitor.

Постановка 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 побудовані 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 «нейтраплізують» більше вуглекислого газу та володіють здатністю адаптуватися у край несприятливих умовах. Такі властивості мікроводоростей є об'єктивною умовою для впровадження таких технологічних процесів у практику з метою очищення промислових газових викидів від вуглекислого газу. Хімізм даного процесу зображається 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 SO₂ та CO₂ подібні, а тому, є припущення, що на етапі транспортування у внутрішній об'єм клітини мікроводорості, не завжди система їх розрізняє. Потрапивши у внутрішній об'єм клітини мікроводорості, на етапі фотосинтезу, молекули SO₂ блокують процес фотосинтезу. Відтак, існує необхідність дослідження процесу очищення промислових газових викидів за участі хлорофілсинтезуючих мікроводоростей в присутності SO₂, 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 мікроводоростей.

Мета роботи полягає у вивченні впливу діоксиду сірки на процеси фотосинтезу, що адекватно вивченню впливу SO₂ на приріст біомаси хлорофілсинтезуючих мікроводоростей.

Теоретична частина. У внутрішньому середовищі клітини мікроводоростей 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 мікроводорості 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 фотоколориметричним 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].

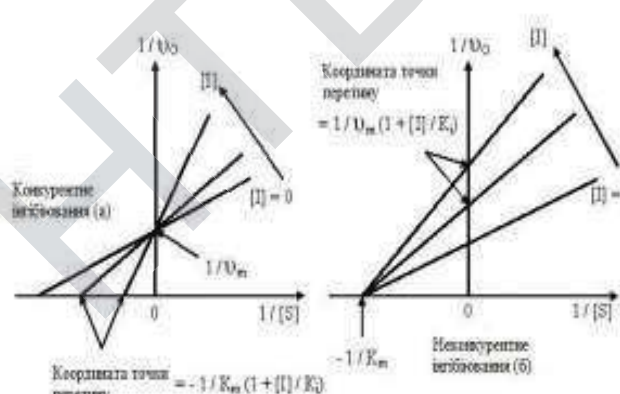


Рис. 1. Графік Лайнуівера – Берка для конкурентного (а) та неконкурентного (б) інгібування за літературними даними [3].

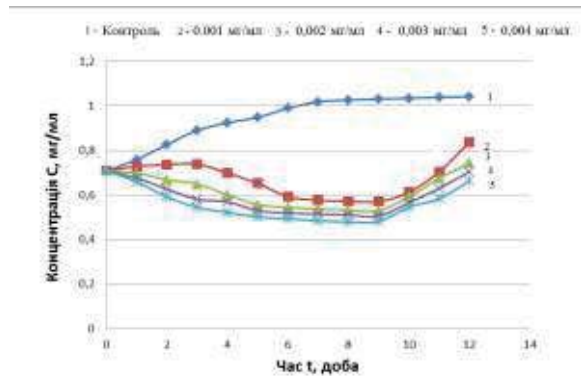


Рис. 2. Зміна концентрації клітин мікроводоростей в часі за відповідних значень концентрацій інгібітора.

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.

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 зворотньо, як з вільним ферментом, так і в фермент-субстратному комплексі, утворюючи неактивні комплекси.

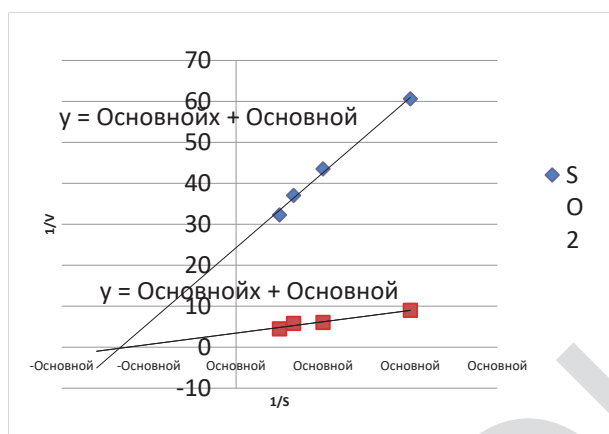


Рис. 3. Графік Лайнуівера-Берка для визначення типу інгібування SO_2 .

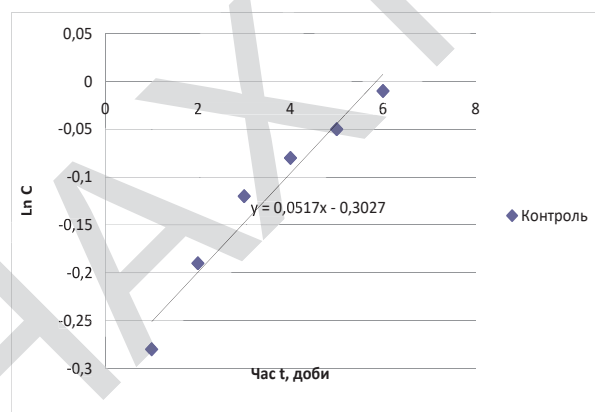


Рис. 4. Залежність зміни логарифму концентрації клітин мікроводоростей від часу.

За допомогою цього ж графіка (рис. 3), побудованого за різних значень концентрацій інгібітора (SO_2), 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 (SO_2) 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 мікроводоростей 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 мікроводоростей $C = C_0$. 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 визначити 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 мікрободоростей 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).

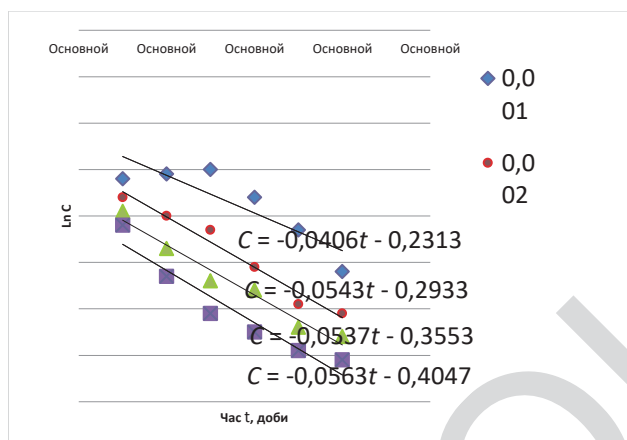


Рис. 5. Залежність зміни логарифму концентрації клітин від часу (при відповідних концентраціях інгібітора)

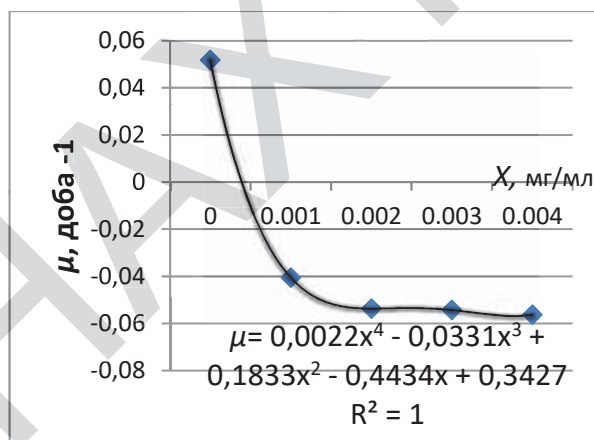


Рис. 6. Графік залежності коефіцієнту приросту від концентрації інгібітора.

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:

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

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 мікрободоростей. За таких умов чисельність мікрободоростей не змінюється, залишається на початковому рівні. При менших значеннях концентрацій SO_2 розрахованого за рівнянням (7) можливий приріст біомаси мікрободоростей 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 мікрободоростями. Теоретично обґрунтовано на основі теорії Лайнуївера-Берка та експериментально доведено наявність неконкурентного інгібування діоксидом сірки процесу фотосинтезу хлорофілсинтезуючими мікрободоростями. Отримана аналітична залежність коефіцієнту приросту мікрободоростей від концентрації діоксиду сірки в середовищі культивування мікрободоростей. Встановлено співвідношення $CO_2 : SO_2$ за якого може проходити фотосинтез та приріст біомаси мікрободоростей. Розраховані значення допустимих концентрацій діоксиду сірки в середовищі культивування мікрободоростей підтверджено експериментально.

Література.

1. Дячок В. В. Вивчення впливу температури на кінетику поглинання вуглекислого газу мікроводоростями [Текст] / В. В. Дячок, С. І. Гуглич, О. Б. Левко // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Хімія, технологія речовин та їх застосування.- 2015. - № 812. - С. 365-372.
2. Стеценко О. В. Біоорганічна хімія [Текст]/ О. В. Стеценко, Р. П. Виноградова. – К.: Вища школа. 1992. –278 с.
3. Губський Ю. І. Біологічна хімія. [Текст] / Ю. І. Губський.- К.: Нова книга. 2007. – 137 с.
4. Золотарьова О.К. Перспективи використання мікроводоростей у біотехнології [Текст] / О.К. Золотарьова, Є.І. Шнюкова, О.О. Сиваш, Н.Ф. Михайленко. – К.: Альтерпрес, 2008. – 234 с.
5. Кисличенко В.С. Сировинні джерела продуктів біотехнології та їх аналіз : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. [Текст] / В.С. Кисличенко, І.О. Журавель, О.В. Бухаріна та ін. – Х. : НФаУ : Золоті сторінки. 2009. – 304 с.
6. Dyachok, V., The mechanism of extraction from solid bodies cellular structure [Text] / V. Dyachok, I. Ilkiv // Chemistry & chemical technology . - 2013. - Vol. 7, № 1. P. – 23-27.
7. Dyachok V. About the problem of biological processes complicated by mass transfer [Text] / V. Dyachok, S. Huhlych, Y. Yatchyshyn, Y. Zaporochets, V. Katysheva // Chemistry & chemical technology.- 2017. - Vol. 11, №1. P. 111-116
8. Yang, Y. Effects of CO₂ concentrations on fresh water microalgae *Chlamydomonas reinhardtii*, *Chlorella pyrenoidosa* and *Scenedesmus obliquus* (chlorophyta) [Text] / Y. Yang, K. Gao // Journal of applied Phycology. -2003.-N.00. - P. 1-11.
9. Stepan, D. J. 2.3 carbon dioxide sequestration using microalgae systems [Text] / D. J. Stepan, R. E. Shockey, T. A. Moe, R. I. Dorn // Energy and Environmental Research Center, University of North Dakota. - 2002 - N.1.- P.1-27
10. Miyachi S. Historical perspective on microalgal and cyanobacterial acclimation to low- and extremely high-CO₂ conditions [Text] / S. Miyachi, I. Iwasaki, Y. Shiraiwa // Photosynthesis Research. - 2003. - N.77.- P. 139-153.

УДК 541.04

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА МОНТМОРИЛОНІТУ, МОДИФІКОВАНОГО ПОЛІОНЕНАМИ

Суша І.В., канд. техн. наук, доцент, Томіло В.І., канд. техн. наук, доцент,
Беляновська О.А., канд. техн. наук, доцент, Сухий К.М., д-р техн. наук, професор,
ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро

TECHNOLOGY OF MANUFACTURE OF MONTHORYLONITE, MODIFIED POLYONENES

Sukha I.V., PhD, docent, Tomilo V.I., PhD, docent, Belyanovskaya E.A., PhD, docent,
Sukhyi K.M., SciD, professor,
State Higher Education Institution 'Ukrainian State University of Chemical
Engineering', Dnipro, Ukraine

Анотація: Розроблено технологію виробництва монтморилоніту, модифікованого полііоненами. Вивчено вплив технологічних параметрів на процеси модифікації монтморилоніту полімерними четвертинними амонійними солями. Показана кореляція між технологічними параметрами модифікації та складом, властивостями та структурою монтморилоніту. Визначено оптимальні параметри процесів модифікації монтморилоніту полііоненами. Показано, що процес інтеркаляції макромолекул полімерної четвертинної амонієвої солі у міжкристалічний простір монтморилоніту супроводжується збільшенням міжшарових відстаней з 1,08 нм до 1,67 нм. Розроблено методику синтезу модифікованого полііоном монтморилоніту. Встановлено, що оптимальні умови сорбції молекул полііоногену монтморилонітом спостерігаються при таких параметрах: концентрація водної дисперсії монтморилоніту – 1%; температура реакційного середовища 40°C; співвідношення монтморилоніт – полііонен 3:1; тривалість процесу – 24 год. За допомогою диференційно-термічного аналізу показано, що вміст полііоногену в модифікованому монтморилоніті складає 12%. За допомогою ІЧ-спектроскопії показано,

КИНЕТИКА КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ГРАНАТОВОГО СОКА В УСТАНОВКЕ БЛОЧНОГО ВЫМОРАЖИВАНИЯ	101
Стоянова А.М., Драгни Е.И., Терземан Е.Ф.	
РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ СИСТЕМ С УТИЛИТНЫМИ ПУТЯМИ	
Ульев Л.М., Маатук А.	106
ПРОЕКТ ТЕРМОМОДЕРНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО КОРПУСА ОНАПТ	
Перетяка С. Н., Козинец А. Ю., Бандура Д. А.	111
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛОНАСОСНОГО СУШІННЯ	
Дабіжа Н.О.	115
РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ КОЖУХОТРУБНИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ ДЛЯ ВИСОКОМІНЕРАЛІЗОВАНИХ СЕРЕДОВИЩ	
Чаласєв Д.М., Шматок О.І., Грабова Т.Л., Сильнягіна Н.Б.	121

ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНИХ ТА ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

ПОГЛИНАННЯ ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ ІЗ СУМІШІ ПОВІТРЯ З ДІОКСИДОМ СУЛЬФУРУ	
Дячок В. В., Гуглич С. І., Катишева В. В., Мандрик С. Т.	126
ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА МОНТМОРИЛОНІТУ, МОДИФІКОВАНОГО ПОЛІОНЕНАМИ	
Суха І.В., Томіло В.І., Белянєвська О.А., Сухий К.М.	131
ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОМАСООБМІНУ ПІД ЧАС ВЗАЄМОДІЇ ТВЕРДОГО ТІЛА З РІДКИМ РЕАГЕНТОМ	
Гумницький Я.М., Атаманюк В.М., Симак Д.М., Данилюк О.М.	138
АДСОРБЦІЙНО-ДИФУЗІЙНІ ПРОЦЕСИ У СТАТИЧНОМУ ШАРІ ДИСПЕРСНОГО МАТЕРІАЛУ В СТАЦІОНАРНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ УМОВАХ	
Сабадаш В.В., Гумницький Я.М.	143
ПРОЦЕСИ ВИРОБНИЦТВА НЕЕНЕРГОСМНИХ КОНЦЕНТРАТИВ ФІТОПРЕПАРАТИВ	
Бурдо А.К., Альхурі Юсеф, Ананійчук Е.Ю., Велічко В.П.	148
РОЛЬ НАДЛИШКОВОГО МАРГАНЦЮ В ФОРМУВАННІ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАНОСТРУКТУРНОГО КОМПЗИТУ НА ОСНОВІ МАНГАНІТУ І СТАБІЛІЗОВАНОГО ДІОКСИДУ ЦИРКОНІУ	
Акимов Г.Я., Новохацька А.О.	153
ЗАХИСНІ ПОЛІЕТИЛЕНОВІ ТРУБИ ДЛЯ ОПТОВОЛОКОННИХ КАБЕЛІВ ЗВ'ЯЗКУ З АНТИФРИКЦІЙНИМ ВНУТРІШНІМ ШАРОМ	
Гоцький Я. Г., Двойнос Я. Г.	157
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЯ ИЗ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ	
Рябик П.В., Опарин С.А., Гриднева Т.В.	161
ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭКСТРУДИРОВАННОГО ЯДРА ПОДСОЛНЕЧНИКА	
Евлаш В.В., Потапов В.А. Никитин С.В.	164
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ БЛОКА ЛЬДА В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ	
Тришин Ф.А., Трач А.Р., Орловская Ю. В.	168
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА ДЕМИНЕРАЛИЗАЦИИ МОРСКОЙ ВОДЫ В АППАРАТАХ БЛОЧНОГО ВЫМОРАЖИВАНИЯ	
Тришин Ф.А., Масельская Я.А.	174
ОЦІНЮВАННЯ БЕЗРЕАГЕНТНОЇ ОБРОБКИ ВОДИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	
Журавська Н. Е.	179