

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

*VII Міжнародної науково-практичної
конференції*

**«ІННОВАЦІЙНІ
ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ»**

9-13 вересня 2019 р.



ОДЕСА
2019

Публікуються доповіді, представлені на XVIII Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв» (9 – 13 вересня 2019 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
Кандидат техн. наук

О.Г. Бурдо
Ю.О. Левтринська
Я.О. Масельська

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

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

СЕКЦІЯ 2.

**ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ
ХІМІЧНИХ І ФАРМАЦЕВТИЧНИХ
ВИРОБНИЦТВ**

паливі зміщені в сторону більш високих температур в порівнянні з паливом, яке перебуває в шарі. Відмічений факт є наслідком збільшення опору переносу вологи в гранулі в зв'язку з більшою щільністю. Через складності доступу окислювача до частинок диспергованого палива в шарі та меншу теплопровідність процес його термічного розкладання проходить повільніше і в більш широкому інтервалі температур ніж у гранулах. Показано, що газова атмосфера суттєво впливає на кінетику та хід термічного розкладання органічних речовин деревини. В процесі термічного розкладання палива у власній газовій атмосфері спостерігається видалення газоподібних продуктів, що супроводжується ендотермічним ефектом. Показано, що збагачення газової атмосфери киснем призводить до зростання швидкості реакцій та звуження інтервалу температур термічного розкладання. Інертна або киснево-дефіцитна атмосфера суттєво знижує інтенсивність процесів термічного розкладання.

Література.

1. Энергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» від 18 серпня 2017 р. № 605-р. Дата оновлення 15.05.2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p>.
2. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Жовмір М.М., Матвеев Ю.Б., Дроздова О.І. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Частина 1. Відходи сільського господарства та деревна біомаса // Промышленная теплотехника. 2010. Т. 32, № 6. С. 58-65.
3. Максимів Л. І., Климович В. П., Загвойська Л. Д. Використання енергетичного потенціалу деревини: еколого-економічний вимір // Наукові праці Лісівничої академії наук України : зб. наук. пр. Львів : Камула, 2016. Вип. 14. С. 244-251.
4. Sebío-Puñal, T., Naya, S., López-Beceiro, J., Tarrío-Saavedra, J., & Artiaga, R. Thermogravimetric analysis of wood, holocellulose, and lignin from five wood species. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2012. Vol. 109, Is. 3, P. 1163–1167. <https://doi.org/10.1007/s10973-011-2133-1>.
5. Лоскутов С. Р., Шапченкова О. А., Анискина А. А. Термический анализ древесины основных лесообразующих пород средней Сибири // Сибирский лесной журнал. 2015. № 6. С. 17-30.
6. Снежкін Ю. Ф., Корінчук Д. М., Михайлик В. А. Композиційні палива на основі торфу і рослинної біомаси: монографія. К.: Вид. Либідь. 2012. 211 с.
7. Дериватограф системы Паулик Ф., Паулик Й., Эрдеи Л. Теоретические основы. Венгерский оптический завод. Будапешт, 1974. 146 с.
8. Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник. 2-е изд., исправл. и доп. / под общей редакцией канд. хим. наук В.А.Рабиновича. Изд-во «Химия», Ленинградское отделение, 1978. 392 с.
9. Михайлик В.А., Снежкін Ю.Ф., Белинский В.Т. Применение дериватографа для исследования влияния предварительной термической обработки на кинетику сушки растительного сырья. Тезисы IV Международной конференции «Проблемы промышленной теплотехники». 26-30 сентября 2005г. Киев, Украина. С. 349-350.

УДК 628. 54

АКТИВАТОРИ ПРОЦЕСУ ПОГЛИНАННЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ХЛОРОФІЛСИНТЕЗУЮЧИМИ МІКРОВОДОРОСТЯМИ

Дячок В.В. д. т. н. професор, Мандрик С.Т. аспірант, Гуглич С.І. к. т. н. доцент,
Національний університет «Львівська Політехніка»

ACTIVATORS OF THE PROCESS OF ABSORPTION CARBON DIOXIDE BY CHLOROPHYSYNTHESIZING MICROALGAE

Vasil Dyachok, Doctor of Engineering Science, Professor; Solomiia Mandryk postgraduate; Serhii Huhlych, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor;
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

Анотація. Зміна загальнопланетарного клімату призводить до руйнівних наслідків для планети Земля і робить цю проблему однією з найважливіших у сфері охорони навколишнього середовища. Існує багато способів для вирішення цієї проблеми, одна із них зменшення концентрації CO₂ із залученням біологічних методів очищення промислових газових викидів із використанням фотосинтетичних властивостей мікроводоростей.

Найвагомішим джерелом вуглекислого газу (CO₂) є спалювання палива, твердого, рідкого чи газоподібного. А відповідно супутніми продуктами спалювання є SO₂, N_xO_y та P₂O₅. Безумовно присутність цих газів буде впливати на ефективність поглинання CO₂ хлорофілсинтезуючими мікроводоростями типу *Chlorella*. Тому важливо дослідити вплив оксиду нітрогену (N_xO_y) та оксиду фосфору (P₂O₅) на ефективність поглинання вуглекислого газу (CO₂) хлорофілсинтезуючими мікроводоростями типу *Chlorella*.

Встановлено явище активування оксидами нітрогену та оксидом фосфору процесу фотосинтезу. Встановлені допустимі значення концентрацій активаторів (N_xO_y та P_2O_5) в процесі поглинання вуглекислого газу хлорофілсинтезуючими мікрободоростями. На основі рішення розробленої математичної моделі поглинання вуглекислого газу хлорофілсинтезуючими мікрободоростями та отриманих експериментальних результатів дослідження отримано графічні та аналітичні залежності поглинання CO_2 хлорофілсинтезуючими мікрободоростями за умови присутності оксиду фосфору та оксидів нітрогену. Визначено значення оптимальної концентрації оксидів нітрогену та оксиду фосфору як активаторів приросту мікрободоростей типу *Chlorella*.

Abstract. Changing the planet climate leads to devastating consequences for the planet Earth and makes this problem one of the most important in the field of environmental protection. There are many ways to solve this problem, one of which is the reduction of CO_2 concentration with the use of biological methods for the purification of industrial gas emissions using the photosynthetic properties of microalgae.

The main source of carbon dioxide (CO_2) is combustion of fuel, solid, liquid or gaseous. Consequently, by-products of combustion are SO_2 , N_xO_y and P_2O_5 . Certainly, the presence of these gases will affect the absorption efficiency of CO_2 chlorophyllsynthesizing microalgae of the *Chlorella* type. Therefore, it is important to study the effect of nitrogen oxide (N_xO_y) and phosphorus oxide (P_2O_5) on the absorption efficiency of carbon dioxide (CO_2) chlorophyllsynthesizing microalgae of the *Chlorella* type.

The phenomenon of activation by oxides of nitrogen and phosphorus oxide in the process of photosynthesis is established. The established values of activator concentrations (N_xO_y and P_2O_5) in the process of absorption of carbon dioxide by chlorophyllsynthesizing microalgae. Based on the decision of the mathematical model and the experimental results obtained, graphs of the dependence of the absorption of CO_2 on the chlorophyllsynthetic microalgae were constructed in the presence of phosphorous oxide and nitrogen oxides. The values of optimal concentration of nitrogen oxides and phosphorus oxides as enhancers of growth of microalgae of the *Chlorella* type were determined.

Ключові слова: вуглекислий газ (CO_2), оксиди нітрогену (N_xO_y), оксид фосфору (P_2O_5), мікрободорості, активатори.

Key words: carbon dioxide (CO_2), nitrogen dioxide (NO_2), phosphorus oxide (P_2O_5), microalgae, activators.

Постановка проблеми. Глобальне потепління, яке викликане збільшенням концентрації парникових газів в атмосфері, викликає серйозне занепокоєння і привертає все більшу увагу оскільки природні джерела викопного палива виснажуються. Ефективне зменшення викидів парникових газів є важливою міжнародною проблемою в наукових, і екологічних сферах і навіть в міжнародній економіці та політиці. Вуглекислий газ (CO_2) є одним з основних парникових газів, що викидаються в атмосферу. Таким чином, зменшення викидів CO_2 за допомогою біологічних методів є важливим завданням екологічної спільноти сьогодення. [1]

Серед біологічних методів, фотосинтез мікрободоростей має ряд переваг, таких як вища швидкість фіксації CO_2 , ніж у наземних рослин, також необхідності в подальшій утилізації захопленого CO_2 немає. Біологічна фіксація CO_2 за допомогою мікрободоростей розглядається як потенційна тактика не тільки зменшити викиди CO_2 , але і отримати біомасу мікрободоростей з високим вмістом ліпідів (джерело регенеративної енергії). Включення CO_2 в компоненти запасу енергії в біомасі, такі як вуглеводи і ліпіди, заснована на фотосинтезі і фіксації CO_2 є найбільш перспективним шляхом для вловлення вуглекислого газу з газових викидів. [2]

Хлорофілсинтезуючі мікрободорості мають ряд суттєвих переваг. Вони не потребують добрив, не потребують багато місця на відміну від наземних культур. Фактично вони створюють потужну конкуренцію традиційним культурам. До того ж, водорості швидко ростуть. Вони можуть рости будь-де, якщо отримують достатньо світла, води і вуглекислого газу, який поглинають. Водночас самі нейтралізують речовини, які забруднюють воду при їх культивуванні. Отож вирощування водоростей вважається екологічно чистим виробництвом. [3]

Основні чинники, що впливають на процес фотосинтезу мікрободоростями є ступінь аерації вуглекислим газом, температура, освітленість, лужно-кислотний баланс, вплив активаторів реакції фотосинтезу і т. д. За рахунок дослідження цих факторів можна отримати більш глибоке розуміння біологічних процесів, що відбуваються у досліджуваному об'єкті. [4]

Мета роботи полягає у вивченні впливу оксидів, які можуть виступати в ролі активаторів процесу фотосинтезу при поглинанні вуглекислого газу хлорофілсинтезуючими мікрободоростями типу *Chlorella*.

Теоретична частина.

Всі процеси у живій природі протікають винятково ферментативним шляхом. Тому перетворення забруднюючих речовин всередині клітини мікрободорості відбувається завдяки дії ферментів. За даними сучасних досліджень активністю ферментів можна регулювати. Більшість ферментів можуть зв'язуватися з малими молекулами, які мають назву модифікатори (ефектори) і можуть змінювати ферментативну активність. До них належать: інгібітори – сполуки, які гальмують активність ферменту та активатори – сполуки, які збільшують ферментативну активність. Відповідно результат дії інгібіторів має назву інгібування, активаторів – активація. [5].

Швидкість протікання біохімічних процесів залежить не тільки від природи і концентрації ферменту та субстрату, але й від присутності – інгібіторів і активаторів. В живій природі інгібування і активація ферментів і ферментних систем є найважливішими засобами регулювання метаболізму і пристосування до умов навколишнього середовища [6].

Активация ферментативної активності найчастіше може відбуватися під дією кофакторів, субстратів або інших метаболітів. Кофактори можуть позитивно впливати на зв'язування субстрату з активним центром, каталітичне перетворення субстрату, іноді утворюють метало-субстратні комплекси, які більш ефективно підлягають дії ферменту. Молекули субстрату також можуть активувати фермент, але за рахунок інших механізмів. Відомо, що молекули субстрату стабілізують структуру ферменту та індують необхідні конформаційні зміни в активному центрі. [7]

Активуючий вплив на швидкість ферментативної реакції надають речовини органічної і неорганічної природи. Активатори в свою чергу не можуть діяти за конкурентним механізмом, приєднуючись до активного центру ферменту і перешкоджаючи тим самим перетворенню субстрата. Неконкурентна активація зустрічається часто, оскільки такі активатори не впливають на утворення фермент-субстратного комплексу і прискорюють перетворення субстрата в продукт. Для встановлення каталітичних характеристик активаторів вивчали експериментально кінетику приросту хлорофілсинтезуючих мікроводоростей за різних значень концентрацій активаторів [8].

Експериментальна частина. Для дослідження впливу активування на процес поглинання вуглекислого газу використовували мікроводорості - *Chlorella vulgaris*. Її культивували протягом 11 діб у шести фотобіореакторах об'ємом 1 дм³. Живильні речовини - вуглекислий газ та елементи мінерального живлення клітини мікроводорості отримують безпосередньо з навколишнього рідкого середовища, засвоюючи їх всією своєю поверхнею. На час проведення даного дослідження температуру підтримували в межах $t=30^{\circ}\text{C}$, для досягнення максимально сприятливих умов культивування. Так, як оксиди N_xO_y , і P_2O_5 у водному середовищі утворюють відповідні аніони NO_3^- ; H_2PO_4^- , та засвоюється мікроводоростями у вигляді цих же аніонів, тому їх вплив на поглинання вуглекислого газу, а від так на приріст хлорофілсинтезуючих мікроводоростей вивчали за різних їх значень концентрацій.

Для дослідження впливу оксидів нітрогену на приріст хлорофілсинтезуючих мікроводоростей у першому фотобіореакторі концентрація аніону NO_3^- становила 8,5 мг/м³, у другому –15,6 мг/м³, у третьому –34 мг/м³, а у четвертому – 68 мг/м³. Для дослідження впливу оксиду фосфору (P_2O_5) на приріст хлорофілсинтезуючих мікроводоростей у першому фотобіореакторі концентрація аніону H_2PO_4^- становила 0,02 мг/м³, у другому –0,04 мг/м³, у третьому –0,06 мг/м³, у четвертому –0,08 мг/м³, у п'ятому – 0,1 мг/м³. Та відповідно контрольний розчин, який не містив відповідних аніонів у двох варіантах досліджень.

Приріст біомаси хлорофілсинтезуючих мікроводоростей, за таких умов визначали фотокolorиметричним методом з використанням синього світлофільтра згідно закону Бугера-Ламберта-Бера.[9] Оскільки оптичне поглинання світла за даної довжини хвилі пропорційне концентрації мікроводоростей, одержані експериментальні дані накопичення біомаси мікроводоростей в залежності від часу в межах досліджуваної концентрації NO_3^-) та H_2PO_4^- пропорційні значенням оптичних густин. Вимір оптичної густини досліджуваних і контрольних розчинів виконували відносно розчину порівняння. У нашому випадку розчином порівняння була вода.

В процесі обробки експериментальних даних було отримано графічні залежності, що показують зміну концентрації мікроводоростей в часі за різних значень концентрацій NO_3^- (рис.1) та H_2PO_4^- (рис. 2) відповідно в середовищі культивування при одноразовому введенні.

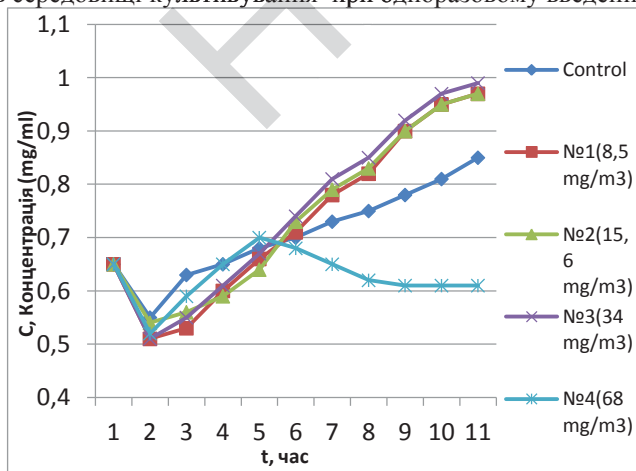


Рисунок 1. Залежність зміни концентрації клітин мікроводоростей в часі за відповідних концентрацій NO_3^-

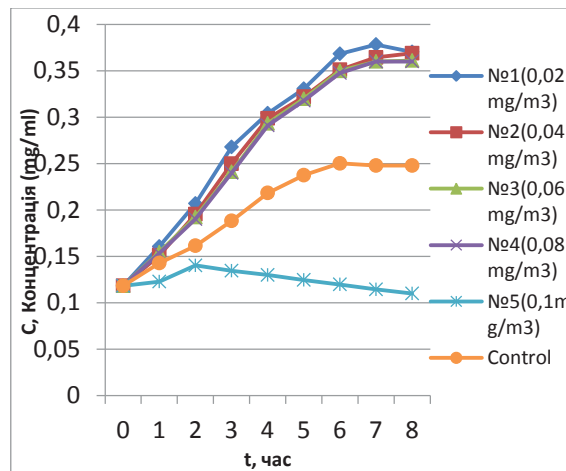


Рисунок 2. Залежність зміни концентрації клітин мікроводоростей в часі при відповідних концентраціях H_2PO_4^-

Із зростанням концентрації NO_3^- та H_2PO_4^- збільшується приріст клітин мікроводоростей в порівнянні з контролем. Як видно на (рис. 1) 4 проба на другий день поводить себе так само як інші, тобто має місце фаза пристосовання до двох діб, з третьої доби починається незначний ріст, який на 5-ту добу є вищий ніж у контрольній пробі, проте з шостої доби спостерігається спад і наступні п'ять діб спостерігається зменшення приросту. При вищих значеннях концентрацій NO_3^- має місце відмирання мікроводоростей в порівнянні з контролем.

Аналізуючи дані (рис. 2.) слід зазначити, що із зростанням концентрації H_2PO_4^- збільшується приріст клітин мікроводоростей, але до певного значення. Як видно на (рис.2) 5 проба на перший та другий день поводить себе так само як інші, тобто зростає, з третього дня починається спад, який продовжується решту днів експериментального дослідження. Водночас спостерігається збільшення маси клітин мікроводоростей в контрольній ємності, яка не зазнала впливу аніону H_2PO_4^- . Це говорить про те що ми додали згубну дозу H_2PO_4^- для приросту хлорофілсинтезуючих мікроводоростей типу *Chlorella*.

Підводячи підсумок отриманим результатам можемо припускати, що продукти спалювання палива - оксиди нітрогену (N_xO_y), оксид фосфору (P_2O_5), до певних значень концентрацій виступають активаторими поглинання вуглекислого газу хлорофілсинтезуючими мікроводоростями.

Визначальним параметром, який характеризує приріст мікроводоростей може бути δ_μ – це питома швидкість приросту або коефіцієнт питомого приросту (с^{-1}):

$$\delta_k = \delta C_1 / C \times \delta t \quad (1)$$

де δC_1 – приріст мікроводоростей; C – концентрація мікроводоростей,

З іншого боку коефіцієнт приросту також може бути визначений за рівняння:

$$\delta C / \delta t = \mu \times C \quad (2)$$

Згідно рівняння, коефіцієнт приросту характеризує відносний приріст концентрації мікроводоростей за одиницю часу. Якщо протягом певного часу $\delta\mu$ залишається незмінним, то такий приріст називається експоненційним, а відповідний йому проміжок часу – експоненційною фазою приросту.

Проінтегрувавши рівняння (3), знаходимо постійну інтегрування за умови, що в початковий момент часу $t=0$ наявна вихідна концентрація клітин мікроводоростей C_0 .

$$C = C_0 \times \exp(\mu t) \quad (3)$$

Оскільки логарифмічна залежність концентрації клітин мікроводоростей від часу в період експоненційного приросту є лінійною залежністю то це дає можливість визначити коефіцієнт приросту μ як тангенс кута нахилу експериментальних прямих. Тому підставивши експериментальні дані у рівняння (4) утримаємо залежності $\text{Ln} C = f(t)$, які зображені на рис. 3; рис.4.

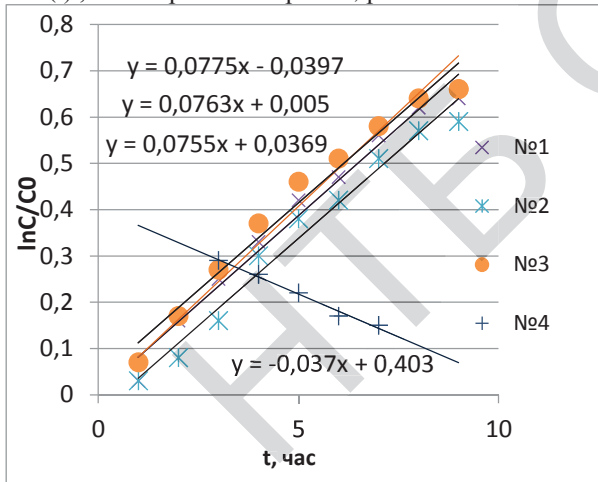


Рисунок 3. Залежність зміни логарифму концентрації суспензії клітин мікроводоростей від часу (за відповідних концентрацій NO_3^-)

Рис. 3. – Залежність зміни логарифму концентрації суспензії клітин мікроводоростей від часу (за відповідних концентрацій NO_3^-)

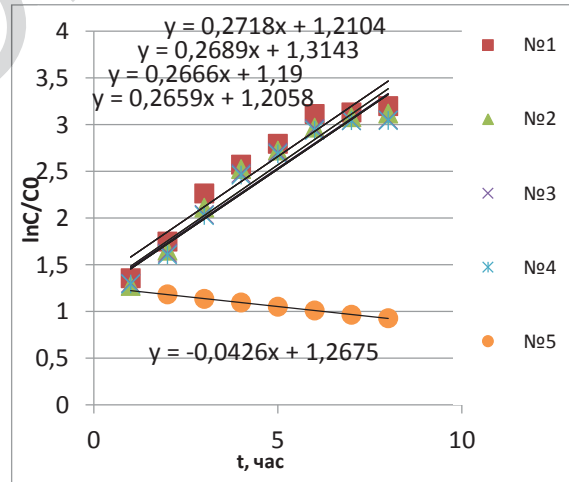


Рисунок 4. Залежність зміни логарифму концентрації суспензії клітин мікроводоростей від часу (за відповідних концентрацій H_2PO_4^-)

Рис. 4. – Залежність зміни логарифму концентрації суспензії клітин мікроводоростей від часу (за відповідних концентрацій H_2PO_4^-)

Користуючись прямими одержаними з графіків визначаємо коефіцієнт приросту μ . Отримані залежності дозволяють визначити коефіцієнт приросту μ , як тангенс кута нахилу експериментальних прямих. Оскільки в контрольних ємностях є збільшення приросту біомаси мікроводоростей, то значення коефіцієнта приросту додатне, $\mu = 0,036 \text{ с}^{-1}$ (рис. 3), $\mu = 0,1394 \text{ с}^{-1}$ (рис. 4). Для аніону NO_3^- за концентрації $8,5 \text{ мг/м}^3$ – $0,076 \text{ с}^{-1}$; за концентрації $15,6 \text{ мг/м}^3$ – $0,077 \text{ с}^{-1}$; за концентрації 34 мг/м^3 $\mu = -0,075 \text{ с}^{-1}$; за концентрації 68 мг/м^3 , $\mu = -0,037 \text{ с}^{-1}$. Оскільки в 1-4 пробах є збільшення приросту біомаси мікроводоростей, тому значення коефіцієнта приросту є додатним. У випадку п'ятої проби має місце зменшення приросту мікроводоростей, тому значення

коефіцієнта приросту μ є від'ємне. Для аніону $H_2PO_4^-$ за концентрації 0,02 мг/м³, $\mu = 0,2666$ с⁻¹; за концентрації 0,04 мг/м³, $\mu = 0,2718$ с⁻¹; за концентрації 0,06 мг/м³, $\mu = 0,2689$ с⁻¹; за концентрації 0,08 мг/м³, $\mu = 0,2659$ с⁻¹; за концентрації 0,1 мг/м³, $\mu = -0,0426$ с⁻¹. Оскільки в 1-4 пробах є збільшення приросту біомаси мікрободоростей, то значення коефіцієнта приросту – додатне. У випадку п'ятої проби, коли концентрація $H_2PO_4^-$ $\mu = -0,1$ мг/м³ має місце зменшення приросту біомаси мікрободоростей, тому значення коефіцієнта приросту μ – від'ємне.

Математична модель приросту біомаси мікрободоростей в залежності від концентрації активаторів за результатами експериментальних досліджень може бути описана наступним чином:

$$\begin{cases} \frac{dC}{dx} = \mu_1 C \\ \frac{dC}{dx} = \mu_1 C - \mu_2 C; \\ x = 0, C = C_0; \end{cases} \quad (4)$$

де, x – концентрація (NO_3^-), ($H_2PO_4^-$); C – концентрація мікрободоростей у суспензії; μ_1, μ_2 – коефіцієнти приросту за позитивного та негативного значення при заданні відповідних початкових умов.

Перше рівняння системи описує приріст концентрації мікрободоростей в залежності від концентрації аніону NO_3^- або $H_2PO_4^-$. При досягненні певного, критичного значення концентрації аніону за результатами експериментальних досліджень спостерігається негативний приріст біомаси мікрободоростей. Це явище супроводжується відповідним значенням коефіцієнту приросту $-\mu_2$.

Для вирішення лінійної системи (4) застосовано операційний метод Ейлера. Рішення даної моделі має вигляд;

$$C = C_0 \frac{\mu_1}{(\mu_2 + \mu_1)} [e^{\mu_1 x} - e^{-\mu_2 x}]; \quad (5)$$

Рівняння (5) описує зміну концентрації біомаси мікрободоростей в межах концентрацій аніонів від 0 до безмежності. Дане рівняння дозволяє розраховувати концентрацію аніонів, за якої досягається максимальне значення концентрації біомаси мікрободоростей, щ адекватно максимальному поглинанню вуглекислого газу. Для цього необхідно знайти умову екстремуму, а саме диференціюючи його та прирівнюючи результат до нуля;

$$\frac{dC}{dx} = 0; \quad (6)$$

Після проведення незначних математичних перетворень приходимо до рішення (7) за яким знаходимо концентрацію аніонів для досягання максимального значення концентрації біомаси мікрободоростей при відомому значенні коефіцієнтів приросту $-\mu_2$;

$$x_{\max} = \frac{\ln \mu_2 - \ln \mu_1}{(\mu_1 + \mu_2)}; \quad (7)$$

Використовуючи дані математичної обробки результатів експериментальних досліджень приросту біомаси мікрободоростей ми знайшли коефіцієнти приросту μ_1 та μ_2 . Після підстановки отриманих значень у розв'язок математичної моделі рівняння (7) розраховуємо оптимальне значення концентрацій NO_3^- для приросту мікрободоростей типу *Chlorella*.

$$x_{\max} = \frac{\ln \mu_2 - \ln \mu_1}{(\mu_1 + \mu_2)} = \frac{\ln(-0,037) - \ln 0,076}{(0,076 - 0,037)} = 18,46 \text{ мг/м}^3;$$

Аналогічно підставляємо значення у рівняння (7) та розраховуємо оптимальне значення концентрації $H_2PO_4^-$ для приросту мікрободоростей *Chlorella*.

Для перевірки адекватності математичної моделі будували аналогічні графіки залежності концентрації оксидів (NO_3^- ; $H_2PO_4^-$), від коефіцієнтів приросту μ отримані експериментальними методом (рис.5 та рис.6).

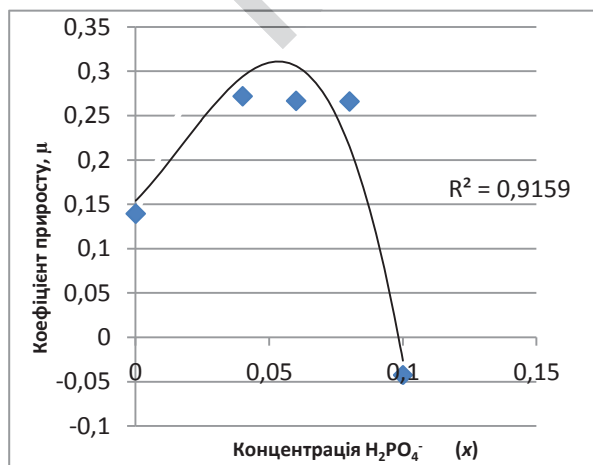


Рисунок 5. Залежність коефіцієнту приросту мікрободоростей μ від концентрації $H_2PO_4^-$

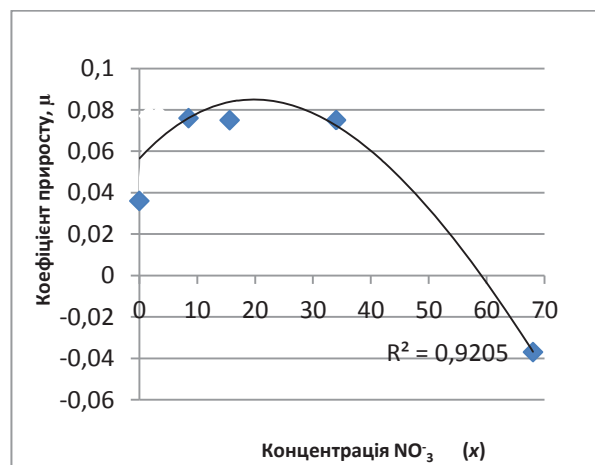


Рисунок 6. Залежність коефіцієнту приросту мікрободоростей μ від концентрації NO_3^-

З (рис. 5.) видно, що максимальний приріст концентрації мікроводоростей досягається за концентрації $H_2PO_4^- \approx 0,06 \text{ мг/м}^3$. Також з (рис. 6.) видно що максимальний приріст концентрації мікроводоростей досягається за концентрації $NO_3^- \approx 18 \text{ мг/м}^3$. Це свідчить про адекватність математичної моделі.

Отримані результати дозволяють в подальшому прогнозувати обладнання для здійснення технології поглинання вуглекислого газу за умови присутності N_xO_y та P_2O_5 .

Висновок. Проведені експериментальні дослідження поглинання вуглекислого газу хлорофілсинтезуючими мікроводоростями типу *Chlorella* за умов присутності активаторів N_xO_y та P_2O_5 . На основі отриманих результатів побудовано експериментальні криві приросту концентрації мікроводоростей від часу. Розроблено математичну модель приросту біомаси мікроводоростей в залежності від концентрації NO_3^- , (N_xO_y) та $H_2PO_4^-$, (P_2O_5) . Встановлено розрахункове значення оптимальної концентрації NO_3^- та $H_2PO_4^-$ для приросту мікроводоростей типу *Chlorella* та підтверджено її експериментальним методом.

Література.

1. Глобальне потепління. Як Земля змінює своє обличчя. Спецпроект ТСН.ua. <https://tsn.ua/special-projects/warming/>. – від 25 березня 2017.
2. Дячок В. В., Гуглич С.І., Левко О. Б. Вивчення впливу температури на кінетику поглинання вуглекислого газу мікроводоростями // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Хімія, технологія речовин та їх застосування. - 2015. - № 812. - С. 365-372.
3. Золотарьова О.К., Шнюкова Є.І., Сиваш О.О., Михайленко Н.Ф. Перспективи використання мікроводоростей у біотехнології / Під ред. О.К. Золотарьової. – К.: Альтерпрес, 2008. – 234 с.
4. Дячок В. В., Гуглич С.І., Кагишева В.В., Мандрик С.Т. Поглинання вуглекислого газу із суміші повітря з діоксидом сірки // Наукові праці. – 2017. – Т.81. – №1. – С. 59-65.
5. Полторак О. М., Чухрай О.С. Физико-химические основы ферментативного катализа / Ред. М.М. Поплавская. – М.: Высшая школа., 1972. – 311 с.
6. Dyachok, V., I. Ilkiv On the mechanism of extraction from solid bodies cellular structure // Chemistry & chemical technology . - 2013. - Vol. 7, № 1. P. – 23-27.
7. Dyachok V., Huhlych S., Yatchyshyn, Y., Zaporochets Y., Katysheva V. About the problem of biological processes complicated by mass transfer // Chemistry & chemical technology.- 2017. - Vol. 11, №1. P. 111-116
8. Манаків М. Н. Победимский Д.Г. Теоретические основы технологии микробиологических производств. – М.: Агропромиздат, 1990. – 272 с.
9. Stepan D. J., Shockey R. E., Moe T. A., Dorn R. I. 2.3 carbon dioxide sequestration using microalgae systems // Energy and Environmental Research Center, University of North Dakota. - 2002 - N.1.- P.27

References

1. Globalne poteplinnia. Yak Zemlia zminiue svoje oblychchia. Spetsproekt TSN.ua. (2017) <https://tsn.ua/special-projects/warming>. vid 25 bereznia.
2. Dyachok V. V., Huhlych S. I., Levko O.B. (2015). Vyvchennia vplyvu temperatury na kinytyku poglynannya vuglekyslogo gazu mikrovodorostyamy, 812, 365-372.
3. Zolotar'ova O.K., Shnyukova Ye.I., Syvash O.O., Myxajlenko N.F. (2008). Perspektyvy vykorystannya mikrovodorostej u biotekhnologiyi. K.: Al'terpres. 234.
4. Diachok V. V., Huhlych S.I., Katysheva V.V., Mandryk S.T. (2017) Pohlynannia vuhlekysloho hazu iz sumishi povitria z dioksydom sirky . Naukovi pratsi. 81,1, 59-65.
5. Poltorak O.M., Chukhrai O.S. (1972). Fyzyko-khymycheskye osnovy fermentatyvnoho katalyza / Red. M.M. Poplavskaiia. M.: Vysshaiia shkola., 311 s.
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. Manakov M. N. Pobedymskyi D.H. (1990) Teoretycheskye osnovy tekhnolohyy mykrobyolohycheskykh proyzvodstv. M.: Ahropromyzdat., 272 s.
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.

ЗМІСТ

ІННОВАЦІЙНІ РІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

ВИРІШЕННЯ ЕНЕРГО-ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ КРУП'ЯНОГО ВИРОБНИЦТВА	
Хоренжий Н.В., Лапінська А.П.	5
ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕГАЗАЦИИ ЖИДКОСТИ В КАВИТАЦИОННЫХ ТЕЧЕНИЯХ. ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ	
Иваницкий Г.К., Целень Б.Я., Недбайло А.Е., Коник А.В.	11
ІННОВАЦІЙНІ СПОСОБИ ЕНЕРГОПІДВОДУ У ПРОЦЕСАХ СУШІННЯ ТЕРМОЛАБІЛЬНОЇ СИРОВИНИ	
Яровий І.І., Кашкано М.А., Маренченко О. І., Пилипенко Є.О.	17
МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ШВИДКОСТЕЙ ТЕПЛОНОСІВ У ВЕРТИКАЛЬНОМУ КАНАЛІ КОНТАКТНОГО АПАРАТУ	
Кузьменко І.М.	24
МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ ПРИ КОНВЕКТИВНОМУ СУШІННІ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ	
Ощипок І. М.	29
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГІЇ РЕКУПЕРАЦІЇ В СИСТЕМІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ШВИДКІСНОГО ТРАМВАЮ М. КРИВИЙ РІГ	
Кухта О.О.	33
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ В ПРОЦЕСІ ЖАРІННЯ ОЛІЙНОЇ СИРОВИНИ	
Сорокова Н.М., Дідур В.В.	37
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЛАЗМЕННЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СРЕД	
Холявченко Л.Т., Опарин С.А., Давыдов С.Л.	42
ПРОБЛЕМИ ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ	
Бундюк А.М., Подпалова Ю.В., Коваленко А.К.	46
ENERGY POLICY OPPORTUNITIES. HOW TO FACE CHALLENGES	
Bezhan V., Zhytarenko V., Ostapenko O., Yakovleva O.	48

ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНИХ І
ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СУППОЗИТОРИЕВ	
Шмагток А.И., Степанова О.Е., Сильнягина Н.Б.	54
ТЕРМІЧНЕ РОЗКЛАДАННЯ ГРАНУЛЬОВАНОЇ ДЕРЕВИНИ В УМОВАХ ЗМІННОЇ ГАЗОВОЇ АТМОСФЕРИ	
Корінчевська Т.В., Михайлик В.А., Корінчук Д.М.	59
АКТИВАТОРИ ПРОЦЕСУ ПОГЛИНАННЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ХЛОРОФІЛСИНТЕЗУЮЧИМИ МІКРОВОДОРОСТЯМИ	
Дячок В.В., Мандрик С.Т., Гуглич С.І.	64
РОЗРОБКА ІННОВАЦІЙНОГО ТЕПЛОМАСООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	
Грабова Т. Л., Шмагток О.І., Сильнягина Н.Б.	70
ДОСЛІДЖЕННЯ КАВІТАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ В НАСОСАХ РІЗНИХ ТИПІВ	
Авдєєва Л.Ю., Макаренко А.А., Жукотський Е.К.	77
ВИНИКНЕННЯ КАВІТАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ ПІД ЧАС РОБОТИ НАСОСІВ РІЗНОГО ТИПУ	
Авдєєва Л.Ю., Макаренко А.А., Жукотський Е.К.	80
ГІДРОДИНАМІКА ГАЗОРІДНИХ ПОТОКІВ НА КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ СТРУКТУРАХ	
Туз В.О., Лебедь Н.Л., Трокоз Я.Є.	85
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭКСТРАКЦИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ПРОДУКТОВ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДОГО РАКЕТНОГО ТОПЛИВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДА	
Челтонов М.М., Опарин С.А., Матросов А.С., Кириченко А.Л.	91
МОДУЛЬНИЙ ПРИНЦИП ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЛЛЕТ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ	
Бунецкий В.А., Бурдо О.Г., Зыков А.В., Войтенко А.К., Безбах И.В., Кашкарев А.А.	94
ARTIFICIAL MICRO RNA (AMIRNA): A POTENT TOOL FOR GENE SILENCING IN PLANT	