

## АНОТАЦІЯ

***Катишева В.В.* Підвищення рівня екологічної безпеки атмосфери поглинанням вуглекислого газу хлорофілвмісними мікродоростями.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 – «Екологія». Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Львів, 2019.

Захист дисертації відбудеться на засіданні спеціалізованої вченої ради ДФ 35.052.004. Національного університету «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

В дисертаційному дослідженні вирішено важливе науково-практичне завдання – підвищення рівня екологічної безпеки атмосфери поглинанням вуглекислого газу хлорофілвмісними мікродоростями. Запропоновано спосіб очищення промислових газових викидів за участі хлорофілвмісних мікродоростей від парникових газів, зокрема вуглекислого газу, збільшення кількості якого в атмосфері є найдинамічнішим. Цей спосіб, за рахунок експериментально встановленого співвідношення компонентів  $\text{CO}_2$  і  $\text{SO}_2$  та технологічних параметрів, дозволить забезпечити поглинання вуглекислого газу в присутності діоксиду сульфуру та досягти підвищення ефективності очищення промислових газових викидів і тим самим підвищити рівень екологічної безпеки атмосфери.

Вивчено вплив таких факторів як температура, довжини світлової хвилі, присутність супутніх газів спалювання на динаміку поглинання вуглекислого газу, що адекватно приросту біомаси мікродоростей. Визначено оптимальну температуру, за якої відбувається максимальний приріст мікродоростей в досліджуваній системі. Визначено енергію активації біохімічної реакції зв'язування вуглекислого газу у біомасу (фотосинтезу) в досліджуваних умовах. Низьке значення якої засвідчує про доцільність застосування процесу фотосинтезу для поглинання вуглекислого газу.

Досліджено вплив довжини світлової хвилі на приріст біомаси мікродоростей. Експериментально підтверджено довжини хвиль у видимій

області спектру світла, які характеризується найбільшою інтенсивністю її приросту.

Запропоновано механізм транспорту вуглекислого газу та супутніх оксидів  $SO_2$  і  $N_xO_y$  із газової фази у внутрішній об'єм клітини хлорофілвмісних мікроводоростей в процесі очищення промислових газових викидів. Досліджено їх вплив на приріст біомаси мікроводоростей.

Доведено зворотнє, неконкурентне інгібування діоксидом сульфуру процесу поглинання вуглекислого газу мікроводоростями, а від так можливість управління технологією очищення промислових газових викидів змінюючи кількість субстрату - вуглекислого газу.

Визначено граничні концентрації потенційних активаторів на процеси поглинання вуглекислого газу. Встановлена концентрація оксидів азоту у середовищі поглинання, яка сприяє максимальному накопиченню біомаси мікроводоростей у фотобіореакторах.

Розроблено математичні моделі досліджуваних процесів та отримано їх рішення.

Узагальнюючи результати досліджень, розроблено основи технологічних процесів очищення промислових газових викидів від парникових газів хлорофілвмісними мікроводоростями, з подальшою біометанізацією отриманої біомаси. Запропонована технологічна схема дозволяє впливати на зниження кількості антропогенних факторів, які спричиняють зміни клімату, що є основою сучасних екологічно безпечних технологій.

**Ключові слова:** хлорофілвмісні мікроводорості, *Chlorella*, клітинна мембрана, вуглекислий газ ( $CO_2$ ), діоксид сульфуру ( $SO_2$ ), оксиди азоту ( $N_xO_y$ ), інгібітор, активатор, довжина світлової хвилі, температура, фотосинтез, біохімічна реакція, фермент, субстрат, ферментативна кінетика, рівняння Міхаеліса-Ментен, графік Лайнуівера-Берка.

## ABSTRACT

***Viktoriia Katysheva. Increasing the level of environmental safety of the atmosphere by absorption of carbon dioxide by chlorophyll-containing microalgae.***

The dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy in specialty 101 - "Ecology". Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2019.

The defense of the dissertation will be held at the meeting of the Specialized Scientific Council DF 35.052.004 in Lviv Polytechnic National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

The important scientific-practical problem of the dissertation research - the increasing the level of environmental safety of the atmosphere by absorption of carbon dioxide by chlorophyll-containing microalgae has been solved. The method of purification of industrial gas emissions with the participation of chlorophyll-containing microalgae from greenhouse gases, in particular carbon dioxide, the increase of which in the atmosphere is the most dynamic, is proposed. This method, due to the experimentally established ratio of CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> components and technological parameters, will allow to ensure the absorption of carbon dioxide in the presence of sulfur dioxide and to improve the efficiency of purification of industrial gas emissions and thereby increase the level of environmental safety of the atmosphere.

The influence of such factors as temperature, light wavelength, presence of associated combustion gases on the dynamics of carbon dioxide absorption, which is adequate to increase the biomass of microalgae, was studied. The optimal temperature at which occurs the maximum increase of microalgae in the studied system is determined. The activation energy of the biochemical reaction of carbon dioxide binding in biomass (photosynthesis) under the investigated conditions was determined. The low value of this reaction indicates the feasibility of using the process of photosynthesis for carbon dioxide absorption.

The influence of light wavelength on the growth of microalgae biomass has been investigated. The wavelengths in the visible region of the light spectrum, which is characterized by the highest intensity of microalgae biomass growth, were experimentally confirmed.

The mechanism for transport carbon dioxide and associated  $\text{SO}_2$  and  $\text{N}_x\text{O}_y$  oxides from the gas phase into the internal cell volume of chlorophyll-containing microalgae in the process of purification of industrial gas emissions is proposed. Their influence on the growth of microalgae biomass has been investigated.

The reversible, non-competitive inhibition of sulfur dioxide of the absorption process of carbon dioxide by microalgae has been proved, and therefore the ability to control the technology of purification of industrial gas emissions by changing the amount of substrate - carbon dioxide.

The concentration limit of potential activators on the processes of carbon dioxide absorption are determined. The concentration of nitrogen oxides in the absorption medium, which contributes to the maximum accumulation of microalgae biomass in photobioreactors was established.

Mathematical models of the investigated processes are developed and their solutions are obtained.

Summarizing the results of the research, the basics of technological processes of purification of industrial gas emissions from greenhouse gases by chlorophyll-containing microalgae, with subsequent biomethanization of the obtained biomass were developed. The proposed technological scheme allows to reduce the number of anthropogenic factors that cause climate change, which is the basis of modern environmentally friendly technologies.

**Keywords:** chlorophyll-containing microalgae, *Chlorella*, cell membrane, carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ), sulfur dioxide ( $\text{SO}_2$ ), nitrogen oxides ( $\text{N}_x\text{O}_y$ ), inhibitor, activator, light wavelength, temperature, photosynthesis, biochemical reaction, enzyme, substrate, enzyme kinetics, Michaelis-Menten equation, Lineweaver–Burk plot.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Патент на корисну модель: № 125539.

1. Патент України на корисну модель №125539 за заявкою u201712771/ Спосіб очищення газових викидів за участі мікрободоростей. МПК C02F 3/34 //Опубл. 10.05.2018 р. Бюл. №9.

Статті у наукових фахових виданнях, які включені до науково-метричних баз даних (Scopus):

2. Viktoriia Katysheva. About the problem of biological processes complicated by mass transfer / Vasyi Dyachok, Serhiy Huhlych, Yuri Yatchyshyn, Yulia Zaporochets, Viktoriia Katysheva // Chemistry & Chemical Technology. — Lviv : Lviv Politechnic Publishing House, 2017. — Vol 11. — No 1. — P. 111–116.

3. Victoriia Katysheva. Effect of Fuel Combustion Products on Carbon Dioxide Uptake Dynamics of Chlorophyll Synthesizing Microalgae. /Vasil Dyachok, Solomiya Mandryk, Victoria Katysheva, Serhiy Huhlych . // - Poland: Journal of Ecological Engineering, 2019. - Vol 20(6) - P. 18-24.

Статті у наукових фахових виданнях, які включені до науково-метричних баз даних (Index Copernicus):

4. Катишева В.В. Встановлення виду інгібування біохімічного процесу поглинання вуглекислого газу. /Дячок В.В., Катишева В.В.// м. Львів, 2018. Науковий вісник НЛТУ України, 28(5), с. 61-64., Україна, с. 61-64.

Статті у наукових фахових виданнях України:

5. Катишева В. В. / Поглинання вуглекислого газу із суміші повітря з діоксидом сірки. Дячок, В.В., Гуглич, С.І., Катишева, В.В., Мандрик, С.Т.// м. Одеса. 2017 р., Наукові праці, 81(1). с. 59-65.

6. Катишева, В.В. /Інгібітори та активатори процесу поглинання вуглекислого газу хлорофілсинтезуючими мікрободоростям. Дячок, В.В., Катишева, В.В, Гуглич, С.В, Мандрик, С.Т.// м. Одеса, 2018р., Наукові праці, 82(1) с. 77-82.

7. Viktoriia Katysheva./ The role of the wavelength of light in the dynamics of growth of chlorophyllsynthesizing microalgae due to the absorption of

carbon dioxide. Dyachok V., Katysheva V., Huhlych S., Dyachok R.// Lviv, Environmental problems, 2018 y, Vol 3(1), p. 43-48.

8. Катишева В.В. /Дослідження впливу оксидів нітрогену на швидкість поглинання вуглекислого газу хлорофілсинтезуючими мікроводоростями у водному середовищі. Дячок, В. В.; Мандрик, С. Т.; Катишева, В. В.; Гуглич, С. І. // Львів, 2018 р, Вісник Національного університету „Львівська політехніка”, с.171-176.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

9. Катишева В.В. /Встановлення оптимальної довжини світлової хвилі при поглинанні CO<sub>2</sub> хлорофілсинтезуючими мікроводоростями. Дячок В.В., Катишева В.В., Тимочко В.І. // Збірник матеріалів Четвертого міжнародного конгресу «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування.», 21-23 вересня 2016 р., м. Львів, с. 85.

10. Катишева В.В. /Масообмін в біологічних процесах. Дячок В.В., Запорожець Ю.В., Катишева В.В. // Тези доповіді опубліковані у збірнику матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Удосконалення процесів і обладнання — запорука інноваційного розвитку харчової промисловості» Присвячена 65-річчю кафедри процесів і апаратів харчових виробництв НУХТ, 8-10 листопада 2016 р., м. Київ, с.33-34.

11. Viktoriia Katysheva / Determination of the activation energy of the reaction of photosynthesis in chlorophyll synthesizing microalgae. // Vasyl Dyachok, Viktoriia Katysheva // Litteris et Artibus: proceedings of the 6th International youth science forum, November 24–26, 2016, Lviv Polytechnic National University. – Lviv : Lviv Polytechnic Publishing House, 2016. – P. 486–487.

12. Катишева В.В. / Вплив діоксиду сульфуру на швидкість поглинання вуглекислого газу хлорофілсинтезуючими мікроводоростями. Дячок, В. В., Катишева, В. В.; Гуглич, С. І. // Тези доповіді опубліковані у збірнику матеріалів Четвертого студентського конгресу «Захист навколишнього середовища. Збалансоване природокористування», 26-27 квітня 2017 р., м. Львів, Україна, с.49-50.

13. Katysheva Viktoriia / «About problem of absorption of greenhouse gas by chlorophyll synthesizing microalgae in the presence of sulfur dioxide. Dyachok, Vasyl, Katysheva Viktoriia // Тези доповіді опубліковані у збірнику матеріалів VII міжнародного молодіжного наукового форуму «Litteris et artibus», 23-25 листопада 2017 р, м. Львів, с. 465-467.

14. Катишева В.В. / Дослідження процесу поглинання діоксиду карбону із суміші газу з діоксидом сульфуру. // Тези доповіді опубліковані у збірнику VI міжнародної науково-практичної конференції «інноваційні енерготехнології», 4-8 вересня 2017 року, м. Одеса, Україна., с. 85-92.

15. Катишева В.В. / «Investigation of the influence of the light spectrum on the growth efficiency of chlorophyll synthesizing Microalgae. Dyachok Vasyl, Katysheva Viktoriia // Тези доповіді опубліковані у збірнику матеріалів міжнародного молодіжного наукового форуму «Litteris et artibus», 22-24 листопада 2018 року, м. Львів, Україна, с. 375-376.

16. Катишева В.В. / Інгібітори та активатори процесу поглинання вуглекислого газу хлорофілсинтезуючими мікрободоростями. Дячок В.В., Гуглич С.І., Катишева В.В., Мандрик С.Т. // Тези доповіді опубліковані у збірнику XVII міжнародної науково-практичної конференції «інноваційні енерготехнології», 3-8 вересня 2018 року, м. Одеса, Україна., с. 76-79.

17. Катишева В.В./ Вивчення факторів впливу на процес поглинання вуглекислого газу хлорофілсинтезуючими мікрободоростями типу chlorella. Дячок В.В., Гуглич С.І., Катишева В.В., Мандрик С.Т. // 5th International Congress «Sustainable Development: Environmental Protection. Energy Saving. Sustainable Environmental Management», 26-29th September 2018 , Lviv, Ukraine.