

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ПОРОХНЯ МИКОЛА ФЕДОРОВИЧ

УДК 661.336

ДИСЕРТАЦІЯ
ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВИРОБНИЦТВА
ОЧИЩЕНОГО БІКАРБОНАТУ НАТРІЮ ШЛЯХОМ МІНІМІЗАЦІЇ
ГАЗОВИХ ТА РІДИННИХ ВІДХОДІВ

101 – Екологія

10 – Природничі науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 М.Ф.Порохня

Наукові керівники:

Шестопалов Олексій Валерійович
кандидат технічних наук, доцент

Бухкало Світлана Іванівна
кандидат технічних наук, професор

*Ідентичність за змістом
з іншими приєднаними
дисертації засвідчую
Вчений секретар ИТУ «ХНІ»
проф. Заковеротний О.Ю.*



Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Порохня М.Ф. Підвищення екологічної безпеки виробництва очищеного бікарбонату натрію шляхом мінімізації газових та рідинних відходів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 – Екологія. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, м. Харків, 2021.

Роботу виконано на кафедрі Хімічної техніки та промислової екології Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Об'єктом дослідження є процеси утворення відходів виробництва очищеного бікарбонату натрію та мінімізації їхнього впливу на довкілля.

Предметом дослідження є закономірності оптимізації фізико-хімічних параметрів процесу карбонізації содобікарбонатного розчину та конструкційних особливостей бікарбонатних колон виробництва очищеного бікарбонату натрію.

Дисертаційне дослідження присвячене екологізації виробництва очищеного бікарбонату натрію шляхом оптимізації технологічних параметрів процесу карбонізації содобікарбонатного розчину та удосконалення конструктивних параметрів основного технологічного обладнання процесу – бікарбонатних колон.

У вступі обґрунтовано науково-технічну актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, показано зв'язок роботи з науковими темами, надано наукову новизну та сформульовано практичне значення отриманих результатів.

Перший розділ присвячено комплексному аналізу науково-технічної інформації та інформації, отриманої на заводах з виробництва соди та содопродуктів, щодо сучасних методів підвищення екологічної безпеки

виробництва очищеного бікарбонату натрію та основних технологічних параметрів. Розглянуто та проаналізовано світовий досвід щодо виробництва очищеного бікарбонату натрію. Розглянуто конструкційні особливості основного технологічного обладнання – бікарбонатних (карбонізаційних) колон. Виявлено вплив виробництв очищеного бікарбонату натрію на стан навколишнього середовища районів їхнього розташування. На підставі аналізу сформульовано задачі дослідження та шляхи їх вирішення.

У другому розділі розглянуто методики проведення експериментальних досліджень в лабораторних та промислових умовах, надано опис матеріалів, приладів та обладнання для їхньої реалізації.

Третій розділ присвячений теоретичному обґрунтуванню шляхів інтенсифікації процесів технології очищеного бікарбонату натрію з метою рішень задач екологізації виробництва. Було проведено аналіз впливу основних технологічних параметрів процесу карбонізації содобікарбонатних розчинів на екологічні показники якості кінцевого продукту та ефективність абсорбції CO_2 з метою мінімізації утворення відходів виробництва та зменшення їх негативного впливу на довкілля.

В четвертому розділі досліджено вплив температури та витрати газу на кінетику карбонізації (насичення діоксидом вуглецю) розчину карбонат-гідрокарбонату натрію. В результаті використання експериментального лабораторного обладнання знайдено, що зростання температури абсорбенту від 79 до 85°C призводить до зниження максимального ступеню карбонізації розчину з 64 до 59%. Якість же отриманих кристалів гідрокарбонату натрію, навпроти, зростає, але тільки в інтервалі від 79 до 82°C. Крім того, було визначено що окрім конструктивної характеристики нижньої частини бікарбонатних колон, суттєву роль у тривалості експлуатації колон між зупинками на промивку відіграє кількість і місце розташування контактних елементів. В результаті досліджень в промислових умовах було виявлено, що найбільший ефект дає експлуатація лише двох з семи тарілок.

П'ятий розділ присвячений визначенню шляхів підвищення екологічної безпеки содових виробництв і суміжних з ними виробництв очищеного бікарбонату натрію шляхом екологізації технологічних параметрів виробництва. Було визначено основні екологічно небезпечні аспекти діяльності останніх виробництв очищеного бікарбонату натрію, які пов'язані з недосконалістю процесу карбонізації содобікарбонатного розчину. На основі проведених досліджень, як в лабораторних, так і в промислових умовах, було розроблено науково обґрунтовані рекомендації щодо інтенсифікації процесу карбонізації, спрямованої як на мінімізацію негативного впливу на довкілля та підвищення екологічної безпеки процесу, так і на підвищення якості виробництва кінцевого продукту. Виходячи з даних рекомендацій, розраховано орієнтоване зменшення кількості викидів в атмосферу парникового газу CO₂ світовими підприємствами очищеного бікарбонату натрію, яке склало 20,8 тис. т/рік. В разі реалізації запропонованих у п'ятому розділі заходів було досягнуте зменшення обсягів утворення рідинних відходів на 57,7%.

Ключові слова: содова промисловість, кальцинована сода, очищений бікарбонат натрію, карбонізація, карбонізаційні колони, абсорбція, екологічна безпека, екологізація процесів, газові викиди, рідкі стоки.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Порохня М.Ф. Аналіз впливу технологічних параметрів процесу карбонізації содобікарбонатного розчину у виробництві очищеного бікарбонату натрію на ступінь абсорбції CO₂. *Екологічні науки*. 2019. Випуск1(24), Т2. С. 169 – 173. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-1-24-2-33>

2. Порохня Н. Ф., Фрумин В. М., Бурин В. Л. Анализ влияния основных технологических параметров карбонизации содового раствора в производстве очищенного натрия бикарбоната на качество конечного продукта. *Химия и технология производств основной химической промышленности. Сборник научных трудов*. 2019. Харьков: ГУ «НИОХИМ». Т.79. С. 32 – 40.

3. Porokhnia M., Shestopalov O., Bukhkalov S., Novozhylova T. Influence of structural descriptions of underbody of bicarbonate columns on duration of period of their operation and ecologization of process. *ScienceRise*. 2021. Vol. 3. P. 3 – 11. DOI: <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2021.001917>

4. Porokhnia M., Tseitlin M., Bukhkalov S., Panasenko V., Novozhylova T. Defining features in the kinetics of sodium carbonate-bicarbonate solution carbonization and the quality of the resulting sodium bicarbonate crystals. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 4, №10(112), P. 38 – 44. DOI: [doi:10.15587/1729-4061.2021.239157](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239157)

5. Порохня М.Ф. Дослідження впливу основних технологічних параметрів (температура розчину, навантаження по газу) на ефективність процесу карбонізації в промислових умовах. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Сер.: *Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. зб. наук. пр.* 2021. Харків: НТУ «ХПІ». №1. С. 56 – 61.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

6. Порохня М.Ф., Шестопапов О.В. Аналіз негативного впливу виробництва кальцинованої соди на навколишнє середовище. *Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції магістрів та аспірантів*. 2018. Вип.2. С.214 – 215

7. Порохня Н.Ф., Фрумін В.М. Определение основных экологических проблем производства очищенного бикарбоната натрия. *Матеріал XXI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2018*. – Харків: НТУ "ХП", 2018. Вип. 4. С.40

8. Порохня М.Ф. Підвищення ступеня карбонізації содо-бікарбонатних розчинів у содовому виробництві як спосіб мінімізації забруднення атмосфери вуглекислим газом. *5-й Міжнар. конгрес «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування»*. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. С. 129.

9. Порохня М.Ф., Шестопапов О.В. Аналіз впливу содового виробництва на стан навколишнього середовища на території Індії. *Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції Проблеми екології та енергозбереження*. 2019. С.52 – 53

10. Порохня Н.Ф., Бурин В.Л. Повышение экологической безопасности производства очищенного бикарбоната натрия путем реконструкции нижней части карбонизационных колонн. *International scientific and practical conference "Natural sciences: history, the present time, the future, EU experience*. 2019. С.87 – 90

11. Порохня М.Ф., Шестопапов О.В. Аналіз конструктивних проблем карбонізаційних колон виробництва очищеного бікарбонату. *XIII Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів «Теоретичні та практичні дослідження молодих науковців» (19–22 листопада 2019 року): матеріали конференції / за ред. проф. Є.І. Сокола*. Харків : НТУ «ХП», 2019. С.477 – 478

12. Порохня М.Ф., Шестопапов О.В. Дослідження впливу питомої витрати газу на процес карбонізації содобікарбонатного розчину в лабораторних умовах. *IX наукова конференція «Наукові підсумки 2020 року» Збірка наукових праць*. Харків.: Технологічний Центр, 2020. С. 34.

13. Порохня М.Ф., Шестопапов О.В. Розрахунок сумарної кількості викидів CO₂ в атмосферне повітря світовими підприємствами содової промисловості. *XXVIII Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології: Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD-2020)*. Харків: НТУ «ХП», 2020. Ч.4. С.37

SUMMARY

Porokhnia M. The improvement of environmental safety of refined sodium bicarbonate production by minimization of gas and liquid wastes. – Qualification scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of philosophy in specialty 101 – «Ecology». – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» of the Ministry of education and science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation work was performed at the Department of Chemical Engineering and Industrial Ecology of the National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» Ministry of Education and Science of Ukraine.

The subject of the study is the processes of generation of refined sodium bicarbonate production wastes and minimization of their impact on dockillage.

The subject of the investigation is the regularity of optimization of physical and chemical parameters of the process of carbonization of sodium bicarbonate solution and design features of bicarbonate columns for the production of refined sodium bicarbonate.

The dissertation research is devoted to greening the production of refined sodium bicarbonate by optimizing the technological parameters of the carbonation process of a carbon dioxide solution and improving the design parameters of the main technological equipment of the process – bicarbonate columns.

In the introduction, the scientific and technical relevance of the dissertation work is justified, the purpose and objectives are formulated, the object, subject and methods of research are defined, the connection of the work with scientific topics is shown, scientific novelty is given and the practical significance of the results obtained is formulated.

The first section is devoted to a comprehensive analysis of scientific and technical information and information obtained at plants for the production of soda and soda products, on modern methods for improving the environmental safety of

the production of refined sodium bicarbonate and the main technological parameters. The world experience in the production of refined sodium bicarbonate is considered and analyzed. Structural features of the main technological equipment – bicarbonate (carbonization) columns-are considered. The influence of refined sodium bicarbonate production on the state of the environmental in the areas of their location is revealed. Based on the analysis, the research objectives and ways to solve them are formulated.

In the second chapter, methods of conducting experimental studies in laboratory and industrial conditions are considered, materials, devices and equipment for their implementation are described CO₂.

The third section is devoted to the theoretical substantiation of ways to intensify the processes of refined sodium bicarbonate technology in order to solve the problems of greening production. The influence of the main technological parameters of the carbonation process of carbon dioxide Solutions on the Environmental Quality indicators of the final product and the efficiency of CO₂ absorption was analyzed in order to minimize the formation of industrial waste and reduce its negative impact on the environment.

In the fourth section, the influence of gas temperature and flow rate on the kinetics of carbonation (carbon dioxide saturation) of a sodium carbonate-bicarbonate solution is studied. As a result of using experimental laboratory equipment, it was found that an increase in the temperature of the absorbent from 79 to 85°C leads to a decrease in the maximum degree of carbonation of the solution from 64 to 59%. The quality of the obtained sodium bicarbonate crystals, on the contrary, increases, but only in the range from 79 to 82°C. In addition, it was determined that in addition to the design characteristics of the lower part of bicarbonate columns, the number and location of contact elements play a significant role in the duration of operation of columns between Flushing stops. As a result of research in industrial conditions, it was found that the greatest effect is given by the operation of only two of the seven plates.

The fifth section is devoted to determining ways to improve the environmental safety of soda production and related industries of refined sodium bicarbonate by greening the technological parameters of production. The main environmentally hazardous aspects of the activity of the latest production facilities of refined sodium bicarbonate, which are associated with the imperfection of the carbonation process of the carbon dioxide solution, were identified. Based on the conducted research, both in laboratory and industrial conditions, scientifically based recommendations were developed to intensify the carbonation process, aimed both at minimizing the negative impact on the environment and improving the environmental safety of the process, and at improving the quality of production of the final product. Based on these recommendations, an oriented reduction in the amount of greenhouse gas CO₂ emissions into the atmosphere by world enterprises of refined sodium bicarbonate was calculated, which amounted to 20.8 thousand tons/year. If the measures proposed in section five were implemented, a 57.7% reduction in liquid waste generation was achieved.

Key-words: soda industry, soda ash, refined sodium bicarbonate, carbonation, carbonation columns, absorption, environmental safety, process greening, gas emissions, liquid effluents.

LIST OF THE APPLICANTS PUBLICATIONS

Scientific works in which main scientific results of the dissertation are published:

1. Porokhnia M.F. Analiz vplyvu tekhnolohichnykh parametriv protsesu karbonizatsiyi sodobikarbonatnoho rozchynu u vyrobnytstvi ochyshchenoho bikarbonatu natriyu na stupin' absorbtsiyi CO₂. *Ekolohichni nauky*. 2019. Vypusk1(24), T2. S. 169 – 173. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-1-24-2-33>

2. Porokhnia N. F., Frumin V. M., Burin V. L. Analiz vliyaniya osnovnykh tekhnologicheskikh parametrov karbonizatsii sodovogo rastvora v proizvodstve ochishchennogo natriya bikarbonata na kachestvo konechnogo produkta. *Khimiya i tekhnologiya proizvodstv osnovnoy khimicheskoy promyshlennosti. Sbornik nauchnykh trudov*. 2019. Khar'kov: GU «NIOKHIM». T.79. S. 32 – 40.

3. Porokhnia M., Shestopalov O., Bukhkalov S., Novozhylova T. Influence of structural descriptions of underbody of bicarbonate columns on duration of period of their operation and ecologization of process. *ScienceRise*. 2021. Vol. 3. P. 3 – 11. DOI: <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2021.001917>

4. Porokhnia M., Tseitlin M., Bukhkalov S., Panasenko V., Novozhylova T. Defining features in the kinetics of sodium carbonate-bicarbonate solution carbonization and the quality of the resulting sodium bicarbonate crystals. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 4, №10(112), P. 38 – 44. DOI: [doi:10.15587/1729-4061.2021.239157](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239157)

5. Porokhnia M.F. Doslidzhennya vplyvu osnovnykh tekhnolohichnykh parametriv (temperatura rozchynu, navantazhennya po hazu) na efektyvnist' protsesu karbonizatsiyi v promyslovykh umovakh. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI». Ser.: Innovatsiyini doslidzhennya u naukovykh robotakh studentiv. zb. nauk. pr.* 2021. Kharkiv: NTU «KHPI». №1. S. 56 – 61.

Published works of approbation nature:

6. Porokhnia M.F., Shestopalov O.V. Analiz nehatyvnoho vplyvu vyrobnytstva kal'tsynovanoyi sody na navkolyshnye seredovyshe. *Materialy XII Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi mahistriv ta aspirantiv*. 2018. Vyp.2. S.214-215

7. Porokhnia N.F., Frumin V.M. Opredeleniye osnovnykh ekologicheskikh problem proizvodstva ochishchennogo bikarbonata natriya. *Material XXI mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi MicroCAD-2018*. - Kharkiv: NTU "KHPI", 2018. Vyp. 4. S.40

8. Porokhnia M.F. Pidvyschennya stupenya karbonizatsiyi sodobikarbonatnykh rozchyniv u sodovomu vyrobnytstvi yak sposib minimizatsiyi zabrudnennya atmosfery vuhlekyslym hazom. *5-y Mizhnar. konhres «Zakhyst navkolyshn'oho seredovyshecha. Enerhooshchadnist'. Zbalansovane pryrodokorystuvannya»*. - L'viv: Vydavnytstvo L'vivs'koyi politekhniky, 2018. S. 129.

9. Porokhnia M.F., Shestopalov O.V. Analiz vplyvu sodovoho vyrobnytstva na stan navkolyshn'oho seredovyshecha na terytoriyi Indiyi. *Materialy XIII mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi Problemy ekolohiyi ta enerhozberezhennya*. 2019. S.52-53

10. Porokhnia N.F., Burin V.L. Povysheniye ekologicheskoy bezopasnosti proizvodstva ochishchennogo bikarbonata natriya putem rekonstruktsii nizhney chasti karbonizatsionnykh kolonn. *International scientific and practical conference "Natural sciences: history, the present time, the future, EU experience*. 2019. C.87-90

11. Porokhnia M.F., Shestopalov O.V. Analiz konstruktyvnykh problem karbonizatsiynykh kolon vyrobnytstva ochyshchenoho bikarbonatu. *XIII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya mahistrantiv ta aspirantiv «Teoretychni ta praktychni doslidzhennya molodykh naukovtsiv» (19–22 lystopada*

2019 roku): *materialy konferentsiyi / za red. prof. YE.I. Sokola*. Kharkiv: NTU «KHPI», 2019. S.477-478

12. Porokhnia M.F., Shestopalov O.V. Doslidzhennya vplyvu pytomoyi vytraty hazu na protses karbonizatsiyi sodobikarbonatnoho rozchynu v laboratornykh umovakh. *IX naukova konferentsiya «Naukovi pidsumky 2020 roku» Zbirka naukovykh prats'.* Kharkiv.: Tekhnolohichnyy Tsentr, 2020. S. 34.

13. Porokhnia M.F., Shestopalov O.V. Rozrakhunok sumarnoyi kil'kosti vykydiv CO₂ v atmosferne povitrya svitovymy pidpryyemstvamy sodovoyi promyslovosti. *XXVIII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya «Informatsiyi tekhnolohiyi: Nauka, tekhnika, tekhnolohiya, osvita, zdorov"ya» (MicroCAD-2020).* Kharkiv: NTU «KHPI», 2020. CH.4. S.37

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЩОДО ПРИНЦИПІВ ТА МЕТОДІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ОЧИЩЕНОГО БІКАРБОНАТУ НАТРІЮ ШЛЯХОМ МІНІМІЗАЦІЇ ГАЗОВИХ ТА РІДИННИХ ВІДХОДІВ	11
1.1 Характеристика процесу виробництва очищеного бікарбонату натрію....	11
1.1.1 Аналіз способів виробництва очищеного бікарбонату натрію.....	11
1.1.1.1 Огляд технологій приготування содового розчину	12
1.1.1.2 Карбонізація содового розчину	13
1.1.1.3 Характеристика основного обладнання процесу виробництва очищеного бікарбонату натрію.....	14
1.1.2 Фізико-хімічні основи процесів виробництва очищеного бікарбонату натрію	21
1.2 Оцінка впливу газових та рідинних відходів содового виробництва на навколишнє середовище.....	28
1.3 Аналіз напрямків підвищення екологічної безпеки виробництва очищеного бікарбонату натрію.....	34
1.4 Оптимізація процесів виробництва очищеного бікарбонату натрію	42
1.5 Обґрунтування напряму досліджень	47
1.6 Висновки за розділом 1.....	49
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВИРОБНИЦТВА ОЧИЩЕНОГО БІКАРБОНАТУ НАТРІЮ	50
2.1 Методи лабораторних досліджень	50

2.1.1 Дослідження впливу основних технологічних параметрів (температура розчину, навантаження по газу) на ефективність процесу карбонізації.....	50
2.1.2 Дослідження впливу конструктивних характеристик нижньої частини бікарбонатних колон на тривалість періоду роботи в лабораторних умовах .	54
2.2 Методи промислових досліджень	56
2.2.1 Дослідження впливу основних технологічних параметрів (температура розчину, навантаження по газу) на ефективність процесу карбонізації.....	56
2.2.2 Дослідження впливу конструктивних характеристик нижньої частини бікарбонатних колон на тривалість періоду роботи в промислових умовах ..	58
2.3 Висновки до розділу 2	59
РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ШЛЯХІВ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ОЧИЩЕНОГО БІКАРБОНАТУ НАТРІЮ.....	
3.1 Аналіз впливу технологічних параметрів на ступінь абсорбції CO ₂	60
3.2 Дослідження впливу технологічних параметрів карбонізації содового розчину на якість кінцевого продукту.....	66
3.3 Висновки до розділу 3	73
РОЗДІЛ 4 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	
4.1 Результати лабораторних досліджень	75
4.1.1 Результати дослідження впливу основних технологічних параметрів (температура розчину, навантаження по газу) на ефективність процесу карбонізації	75
4.1.2 Результати дослідження впливу конструктивних характеристик нижньої частини бікарбонатних колон на тривалість періоду роботи в лабораторних умовах.....	87
4.2 Результати промислових досліджень	90

4.2.1 Результати дослідження впливу основних технологічних параметрів (температура розчину, навантаження по газу) на ефективність процесу карбонізації.....	90
4.2.2 Результати дослідження впливу конструктивних характеристик нижньої частини бікарбонатних колон на тривалість періоду роботи в промислових умовах.....	95
4.3 Висновки до розділу 4	98
РОЗДІЛ 5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВИРОБНИЦТВА ОЧИЩЕНОГО БІКАРБОНАТУ НАТРІЮ	101
5.1 Актуальність проблеми підвищення екологічної безпеки виробництва очищеного бікарбонату натрію.....	101
5.2 Рекомендації щодо вибору оптимальних умов проведення процесу карбонізації.....	104
5.3 Висновку до розділу 5.....	110
ВИСНОВКИ.....	111
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	113
ДОДАТОК А СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ	126
ДОДАТОК Б ПОКАЗНИКИ РОБОТИ КАРБОНІЗАЦІЙНИХ КОЛОН ЦЕХУ ОЧИЩЕНОГО БІКАРБОНАТУ НАТРІЮ НА ЗАВОДІ NIRMA LTD ПРИ ТЕМПЕРАТУРІ СОДОБІКАРБОНАТНОГО РОЗЧИНУ 79°C І РІЗНИХ ГАЗОВИХ НАВАНТАЖЕННЯХ	129
ДОДАТОК В ПОКАЗНИКИ РОБОТИ КАРБОНІЗАЦІЙНИХ КОЛОН ЦЕХУ ОЧИЩЕНОГО БІКАРБОНАТУ НАТРІЮ НА ЗАВОДІ NIRMA LTD ПРИ ТЕМПЕРАТУРІ СОДОБІКАРБОНАТНОГО РОЗЧИНУ 80°C І РІЗНИХ ГАЗОВИХ НАВАНТАЖЕННЯХ	130

ДОДАТОК Г ПОКАЗНИКИ РОБОТИ КАРБОНІЗАЦІЙНИХ КОЛОН ЦЕХУ ОЧУЩЕНОГО БІКАРБОНАТУ НАТРІЮ НА ЗАВОДІ NIRMA LTD ПРИ ТЕМПЕРАТУРІ СОДОБІКАРБОНАТНОГО РОЗЧИНУ 81°C І РІЗНИХ ГАЗОВИХ НАВАНТАЖЕННЯХ	131
ДОДАТОК Д ПОКАЗНИКИ РОБОТИ КАРБОНІЗАЦІЙНИХ КОЛОН ЦЕХУ ОЧУЩЕНОГО БІКАРБОНАТУ НАТРІЮ НА ЗАВОДІ NIRMA LTD ПРИ ТЕМПЕРАТУРІ СОДОБІКАРБОНАТНОГО РОЗЧИНУ 82°C І РІЗНИХ ГАЗОВИХ НАВАНТАЖЕННЯХ	132
ДОДАТОК Ж НАСЛІДОК ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ СОДОВИХ ПІДПРИЄМСТВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ.....	133
ДОДАТОК З ДОВІДКА ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ	134