

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

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ГРУБНІК АЛІНА ОЛЕГІВНА

УДК 66.01.011


ДИСЕРТАЦІЯ
ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСУ АБСОРБЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ГАЗІВ У АПАРАТАХ ВИХРОВОГО ТИПУ У ВИРОБНИЦТВІ
КАЛЬЦИНОВАНОЇ СОДИ

161 – Хімічні технології та інженерія

16 – Хімічна та біоінженерія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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


_____ А.О. Грубнік

Науковий керівник

Манойло Євгенія Володимирівна
кандидат технічних наук, доцент

Харків 2021



АНОТАЦІЯ

Грубнік А.О. Закономірності процесу абсорбції технологічних газів у апаратах вихрового типу у виробництві кальцинованої соди. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія (16 – Хімічна та біоінженерія) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, м. Харків, 2021.

Роботу виконано на кафедрі Хімічна техніка та промислова екологія Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Об'єктом дослідження є вихровий масообмінний апарат для ефективної абсорбції аміаку розсолем в содовому виробництві.

Предметом дослідження є закономірності процесу абсорбції та моделювання потоків в апаратах вихрового типу у виробництві кальцинованої соди.

Дисертаційне дослідження присвячене розробці удосконаленої конструкції вихрового масообмінного апарату для абсорбції аміаку з технологічних газів, розрахунку та удосконаленню його технологічних показників та режимів роботи.

Розглянуто та проаналізовано світовий досвід щодо розробки та удосконалення подібних масообмінних вихрових апаратів.

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 щодо сучасних діючих масообмінних апаратів та технологічних

процесів виробництва кальцинованої соди. Проаналізовано їх технічні, параметризаційні та процесуальні недоліки.

Подано опис матеріалів та аналіз літератури. Розглянуто сучасні проблеми та недоліки використання ПГКЛ-II у содовому виробництві, існуючі конструкції апаратів вихрового типу, основні конструкції масообмінних апаратів з примусовим розпиленням робочої рідини. Розібрано гідродинаміку і енерговитрати в розпилювальних апаратах та інтенсифікацію промивача газу колон-II у виробництві кальцинованої соди. На підставі аналізу сформульовано задачі дослідження та шляхи їх вирішення.

У другому розділі подано опис матеріалів, методики досліджень та вимірювальної апаратури. Дослідження ефективності розробленого вихрового контактного пристрою проводилося на лабораторній установці. Експериментальні дослідження проведені в лабораторії кафедри хімічна техніка та промислова екологія НТУ «ХП».

Третій розділ присвячено дослідженням гідравлічного опору вихрового апарату, масовіддачі у рідкій фазі та бризкоунесення у вихровому апараті. Також приведені дослідження з визначення коефіцієнту корисної дії вихрового апарату щодо абсорбції аміаку розсолем.

За виконанням даного розділу отримані наступні результати:

– вихровий апарат запропонованої конструкції відрізняються відносно низьким гідравлічним опором та має достатньо високий коефіцієнт масовіддачі, що є перспективним для його використання в содовому виробництві.

– бризкоунесення у вихровому апараті при витраті газу менше 1000 м³/год не перевищує 10 %. При підвищенні витрати газу бризкоунесення залежить від кількості рідини, яка подається на абсорбцію;

– ефективність апарату підвищується із зменшенням концентрації аміаку, підвищенням витрати рідини та зменшення витрати газу. При зміні вказаних факторів у всіх режимах можливо отримати ефективність абсорбції аміаку на рівні 99% шляхом змінення інших залежних факторів. Встановлено розрахункові залежності коефіцієнту корисної дії апарату від витрати рідини, концентрації аміаку в газі та витраті газу. Їх використання дозволяє

визначати ефективність роботи апарату при зміні витрати рідини, концентрації аміаку в газі та витраті газу;

– наведені результати експериментальних досліджень щодо впливу концентрації витрати газу та абсорбуючої рідини на масообмін, гідравлічний опір, бризкоунесення та ефективність роботи апарату вихрового типу.

В четвертому розділі представлено моделювання гідравлічного опору та швидкості руху потоків у вихровому апараті. Дослідженню особливості течії потоків у вихровому апараті при зміні витрати газу, який містить аміак. Наведено залежність зміни полів швидкостей та тиску уздовж апарату та в перетинах секцій при витратах газу 500, 750 та 1000 м³/год.

За виконанням даного розділу отримані наступні результати:

– комп'ютерна реалізація моделі вихрового апарату підтвердила його працездатність у режимах роботи при витраті газу від 500 до 1000 м³/год. За рахунок турбулізаційного перемішування потоків у середній секції забезпечується висока ступінь абсорбції газів;

– моделювання секцій апарату, працюючого у різних режимах за витратою газу, дозволило встановити, що в нижній секції відбувається розгін газу та пере направлення його до центру, в центральній частині відбувається ефективним масообмін, а верхня секція виконує функцію бризковідбійника.

П'ятий розділ присвячений удосконаленню конструкції абсорбційного апарату та рекомендаціям щодо підвищення ефективності його роботи у виробництві кальцинованої соди. Запропонована схема вискоефективної абсорбції газів у содовому виробництві, заснована на використанні апаратів вихрового типу замість промивачів газів колон. Теоретично обґрунтована можливість заміни ПГКЛ-II вихровим апаратом запропонованої конструкції з метою зменшення матеріалоємності, бризкоунесення та гідравлічного опору апаратів з одночасним досягненням високого ступеню абсорбції.

Ключові слова: абсорбція аміаку, вихровий апарат, завихрювач, ефективність асорбції, бризкоунесення, гідравлічний опір.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Моїсєєв В. Ф., Манойло Є. В., Грубнік А.О. Інтенсифікація промивача газу колон у виробництві кальцинованої соди. *Технологический аудит и резервы производства*. Харків: Технологічний центр. 2015. № 6/4 (26). С. 72–77.

2. Моїсєєв В. Ф., Манойло Є. В., Грубнік А.О. Зниження техногенного навантаження на довкілля при проведенні процесу абсорбції аміаку у содовій промисловості. *Журнал інженерних наук*. 2016. Том 3, № 2. СС. G1-G7.

3. Moiseev V., Manoilo E., Hrubnik A., Vasyliev M., Davydov D. Cleaning and disposal of gas emissions from the production of calcinated soda ash. *Journal of engineering sciences*. Volume 4, Issue 2 (2017). 6 P.

4. Грубнік А. О., Манойло Є. В., Моїсєєв В. Ф., Васильєв М. І. Очищення та утилізація газових викидів виробництва кальцинованої соди. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Х.: НТУ «ХПІ». 2017. № 53 (1274). С. 65–71.

5. Основы теории химических процессов и реакторов: монография / И. В. Питак, В. П. Шапоров, О. Я. Питак, А. О. Грубник, Б. Н. Комаристая. Харьков: Технологический центр, 2017. 192 с.

6. Грубнік А. О. Сучасні вимоги до тепломасообмінного обладнання. Конструктивна еволюція вихрових розпилювальних апаратів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях: зб. наук. пр. Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». Харків : НТУ «ХПІ», 2018. № 16 (1292) 2018. С. 134–144.

7. Pitak I., Shaporev V., Pitak O., Hrubnik A., Moiseev V. (2019) Investigation of the Process of Saturation of the Filter Liquid of Soda Production with Ammonia and Carbon Dioxide in the Production of Ammonium

Chloride. In: Ivanov V. et al. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham*. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4_50

8. Hrubnik A., Novozhylova T., Semenov E. Results of a study of the ammonia absorption efficiency by a brine in a vortex device. *ScienceRise*. 2020. No 2 (67). P. 19–25.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

9. Моїсєєв В. Ф., Манойло Є. В., Грубнік А. О. Інтенсифікація промивача газу колон у виробництві кальцинованої соди. *Екологічна безпека держави: тези доповідей X Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів*. м. Київ, (21 квітня 2016 р.), Національний авіаційний університет. редкол. О.І. Запорожець та ін. К.: НАУ, 2016. С. 100–101.

10. Моїсєєв В. Ф., Манойло Є. В., Грубнік А. О. Шляхи інтенсифікації апаратів екологічної безпеки содового виробництва. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXIV Міжнародної науково-практичної конференції, Ч. II (18–20 травня 2016 р., Харків)*. за ред. Проф. Сокола Є.І. – Харків, НТУ «ХПІ». С. 317.

11. Моїсєєв В. Ф., Манойло Є. В., Грубнік А. О. Интенсификация абсорбционного аппарата при улавливании аммиака в производстве кальцинированной соды. Сборник статей научно-информационного центра «Знание» по материалам X Международной заочной научно-практической конференции «Развитие науки в XXI веке», 1 часть, г. Харьков: сборник со статьями (уровень стандарта, академический уровень). Д.: Научно-информационный центр «Знание». 2016. с. 20–25.

12. Моїсєєв В. Ф., Манойло Є. В., Грубнік А. О. Нова газоочисна апаратура в біотехніці. *«Біотехнологія XXI століття»*: матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Київ, 22 квітня 2016 р.)

[Електронне видання]. МОН України, НТУУ «КПІ», Національна академія наук України, Інститут клітинної біології та генетичної інженерії. К.: НТУУ «КПІ», 2016. С. 206.

13. Моїсєєв В. Ф., Манойло Є. В., Грубнік А. О. Аналіз газових викидів виробництва кальцинованої соди та технологія зменшення викидів аміаку в атмосферу. Збірник матеріалів 4-го Міжнародного конгресу *Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*. 21–23 вересня 2016 р. С. 127.

14. Грубнік А. О. Потенціал використання ВЕР содової промисловості. *Еколого-енергетичні проблеми сучасності*. Збірник наукових праць всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Одеса, 14 квітня 2017 р. Видавництво ОНАХТ, 2017 р. С. 18–20.

15. Моїсєєв В. Ф., Манойло Є. В., Грубнік А. О. Удосконалення технології содового виробництва з метою скорочення викидів у навколишнє середовище. В.Ф. *Сучасні проблеми біології, екології та хімії*: збірник матеріалів V Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 30-річчю біологічного факультету Запорізького національного університету (Запоріжжя, 26-28 квітня 2017 р.). Запоріжжя: АА Тандем, 2017. С. 211–213.

16. Грубнік А.О. Удосконалення маловідходної технології газоочистки у виробництві кальцинованої соди. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*: тези доповідей XXVI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р.: у 4 ч. Ч. II. за ред. проф. Сокола Є.І. Харків: НТУ «ХПІ». С. 222.

17. Грубнік А.О. Підвищення екологічної безпеки за рахунок впровадження вихрових апаратів при проведенні процесу абсорбції аміаку у содовій промисловості. XII Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів, 17–20 кв. 2018 р.: матеріали конф.: у 3-х ч. – Ч. 3 / за ред. проф. Є.І. Сокола. – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. С. 29.

18. Питак И. В., Шапоров В. П., Грубник А. О. Исследование процесса сухой гидратации кусковой извести в гидраторах различного типа.

Materials of the XIV International scientific and practical Conference *Science and civilization*. January 30 – February 7, 2018. *Construction and architecture. Mathematics. Modern information technology. Technical science. Physics. Chemistry and chemical technology.*: Sheffield. Science and education LTD. P. 77–84.

19. Shaporev V., Pitak O., Pitak I., Hrubnik A., Moiseev V. Investigation of the process of saturation of the filter liquid of soda production with ammonia and carbon dioxide in the production of ammonium chloride. *International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange (DSMIE-2018)*, Sumy, Ukraine, June 2018. 12 p.

SUMMARY

Hrubnik A. – Regularities of the process of absorption of process gases in vortex-type devices in the soda ash production. – Qualifying scientific work as a manuscript.

The thesis is submitted to obtain a scientific degree of Doctor of Philosophy, specialty 161 – Chemical Technologies and Engineering (16 – Chemical and Bioengineering). – National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2021.

The work was carried out at the Department of Chemical technology and industrial ecology of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

The object of research is a vortex-type mass transfer apparatus for effective absorption of ammonia by brine in soda production.

The subject of research is the regularities of the absorption process and modeling of flows in vortex-type apparatus in the soda ash production.

The thesis research is devoted to the development of an improved design of a vortex-type mass transfer apparatus for the absorption of ammonia from process gases, calculation and improvement of its technological indicators and operating modes.

The world experience in the development and improvement of such mass exchange vortex-type apparatuses is considered and analyzed.

In the introduction, the scientific and technical relevance of the thesis is substantiated, the aim and objectives are formulated, the object, subject and methods of research are determined, the connection between work with scientific topics is shown, scientific novelty is provided and the practical significance of the results obtained is formulated.

The first section is devoted to a comprehensive analysis of scientific and technical information about modern operating mass transfer apparatus and technological processes for the soda ash production. Their technical, parameterization and procedural shortcomings are analyzed.

Description of materials and analysis of literature are given. The modern problems and disadvantages of using PGKL-II in soda production, the existing designs of vortex-type apparatus, the main designs of mass transfer apparatus with forced atomization of the working fluid are considered. The hydrodynamics and energy consumption in the spray apparatuses and the intensification of the gas scrubber Colon-II in the soda ash production are analyzed. Based on the analysis, the research tasks and the ways of their solution are formulated.

The second section contains a description of materials, research methods and measuring equipment. The study of the effectiveness of the developed vortex contact device was carried out on a laboratory setup. Experimental studies were carried out in the laboratory of the Department of Chemical Engineering and Industrial Ecology of NTU "KhPI".

The third section is devoted to the study of the hydraulic resistance of the vortex-type apparatus, mass transfer in the liquid phase and breeze loss in the vortex-type apparatus. Also, studies are given to determine the efficiency of the vortex-type apparatus for the absorption of ammonia by brine.

After completing this section, the following results were obtained:

- the vortex-type apparatus of the proposed design is characterized by a relatively low hydraulic resistance and has a sufficiently high coefficient of mass transfer, which is promising for its use in soda production.

- breeze loss in a vortex-type apparatus at a gas flow rate of less than 1000 m³/h does not exceed 10%. When the gas flow rate increases, the breeze loss depends on the amount of liquid supplied for absorption;

- the efficiency of the apparatus increases with a decrease in the ammonia concentration, an increase in the liquid flow rate and a decrease in the gas flow rate. By changing these factors in all modes, it is possible to obtain the efficiency of ammonia absorption at the level of 99 % by changing other dependent factors. The dependences of the efficiency of the apparatus on the liquid flow rate are calculated, the ammonia concentration in the gas and the gas flow rate is established. Their use makes it possible to determine the efficiency of the

apparatus when changing the liquid flow rate, the concentration of ammonia in the gas and the gas flow rate;

– the results of experimental studies of the influence of the concentration of the flow rate of gas and absorbing liquid on mass transfer, hydraulic resistance, breeze loss and the efficiency of the vortex-type apparatus are presented.

In the fourth section, simulations of hydraulic resistance and flow velocity in a vortex-type apparatus are presented. The features of the flow of flows in a vortex-type apparatus with a change in the flow rate of gas, which contains ammonia, are investigated. The dependence of the change in the velocity and pressure fields along the apparatus and in the sections of the sections at gas flow rates of 500, 750 and 1000 m³/h is given.

After completing this section, the following results were obtained:

– computer implementation of the vortex-type apparatus model confirmed its operability in operating modes with a gas flow rate from 500 to 1000 m³/h. Due to the turbulized mixing of the streams in the middle section, a high degree of gas absorption is ensured;

– modeling of the sections of the apparatus operating in different modes in terms of gas consumption, made it possible to establish that in the lower section the gas is accelerated and redirected to the center, in the central part there is an effective mass transfer, and the upper section serves as a breeze-blower.

The fifth section is devoted to the improvement of the design of the absorption apparatus and recommendations for increasing the efficiency of its operation in the soda ash production. The proposed scheme of highly efficient gas absorption in soda production is based on the use of vortex-type apparatus instead of column gas washers. The possibility of replacing PGKL-II with a vortex-type apparatus of the proposed design is theoretically substantiated in order to reduce material consumption, breeze loss and hydraulic resistance of the apparatus, while simultaneously achieving a high degree of absorption.

Keywords: ammonia absorption, vortex-type apparatus, swirler, absorption efficiency, breeze loss, hydraulic resistance

LIST OF PUBLICATIONS ON THE SUBJECT OF THE DISSERTATION

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

1. Moiseev V. F., Manojlo Є. V., Hrubnik A.O. Intensifikaciya promivacha gazu kolon u virobnictvi kal'cinovanoï sodi. Tekhnologicheskij audit i rezervy proizvodstva. Harkiv: Tekhnologichnij centr. 2015 № 6/4 (26). S.72–77.
2. Moiseev V. F., Manojlo Є. V., Hrubnik A.O. Znizhennya tekhnogenogo navantazhennya na dovkillya pri provedenni procesu absorbcii amiaku u sodovij promislovosti. ZHurnal inzhenernih nauk. Tom 3, № 2 (2016). S. G1-G7.
3. Moiseev V., Manoilo E., Hrubnik A., Vasyliiev M., Davydov D. Cleaning and disposal of gas emissions from the production of calcinated soda ash. Journal of engineering sciences. Volume 4, Issue 2 (2017). 6 p.
4. Hrubnik A. O., Manojlo Є. V., Moiseev V. F., Vasyliiev M. I. Ochishchennya ta utilizaciya gazovih vikidiv virobnictva kal'cinovanoï sodi. Visnik Nacional'nogo tekhnichnogo universitetu «HPI». Zbirnik naukovih prac'. Seriya: Novi rishennya v suchasnih tekhnologiyah. H.: NTU «HPI». 2017. № 53 (1274). S. 65–71.
5. Osnovy teorii himicheskikh processov i reaktorov: monografiya / I. V. Pitak, V. P. SHaporev, O. YA. Pitak, A. O. Hrubnik, B. N. Komaristaya. Har'kov: Tekhnologicheskij centr, 2017. 192 S.
6. Hrubnik A. O. Suchasni vimogi do teplomasoobminnogo obladnannya. Konstruktivna evolyuciya vihrovih rozpilyuval'nih aparativ. Visnik Nacional'nogo tekhnichnogo universitetu «HPI». Seriya: Novi rishennya v suchasnih tekhnologiyah: zb. nauk. pr. Nac. tekhn. un-t «Harkiv. politekhn. in-t». Harkiv : NTU «HPI», 2018. № 16 (1292) 2018. S. 134–144. ISSN 2079-5459.
7. Pitak I., Shaporev V., Pitak O., Hrubnik A., Moiseev V. (2019) Investigation of the Process of Saturation of the Filter Liquid of Soda Production with Ammonia and Carbon Dioxide in the Production of Ammonium Chloride. In:

Ivanov V. et al. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4_50

8. Hrubnik A., Novozhylova T., Semenov E. Results of a study of the ammonia absorption efficiency by a brine in a vortex device. *ScienceRise*. 2020. No 2 (67). P. 19–25.

Published works of approbatory character:

9. Moiseev V. F., Manojlo Є. V., Hrubnik A. O. Intensifikaciya promivacha gazu kolon u virobnictvi kal'cinovanoï sodi. Ekologichna bezpeka derzhavi: tezi dopovidej H Vseukraïns'koï naukovo-praktichnoï konferencii molodih uchenih i studentiv. m. Kiïv, (21 kvitnya 2016 r.), Nacional'nij aviacijnij universitet. redkol. O.I. Zaporozhec' ta in. K.: NAU, 2016. S. 100–101.

10. Moiseev V. F., Manojlo Є. V., Grubnik A. O. SHlyahi intensifikacii aparativ ekologichnoï bezpeki sodovogo virobnictva. Informacijni tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: tezi dopovidej HKHIV Mizhnarodnoï naukovo-praktichnoï konferencii, CH. II (18-20 travnya 2016 r., Harkiv). za red. Prof. Sokola Є.I. – Harkiv, NTU «HPI». S. 317.

11. Moiseev V. F., Manojlo Є. V., Hrubnik A. O. Intensifikaciya absorbcionnogo apparata pri ulavlivanii ammiaka v proizvodstve kal'cinirovannoj sody. Sbornik statej nauchno-informacionnogo centra «Znanie» po materialam H Mezhdunarodnoj zaochnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Razvitie nauki v HKHI veke», 1 chast', g. Har'kov: sbornik so stat'yami (uroven' standarta, akademicheskij uroven'). D.: Nauchno-informacionnyj centr «Znanie». 2016. S. 20–25.

12. Moiseev V. F., Manojlo Є. V., Hrubnik A. O. Nova gazoochisna aparatura v biotekhnici. «Biotekhnologiya HKHI stolittya»: materiali H Vseukraïns'koï naukovo-praktichnoï konferencii (m. Kiïv, 22 kvitnya 2016 r.) [Elektronne vidannya]. MON Ukraïni, NTUU «KPI», Nacional'na akademiya nauk

Ukraini, Institut klitinnoï biologii ta genetichnoï inzhenerii. K.: NTUU «KPI», 2016. S. 206.

13. Moiseev V. F., Manojlo Є. V., Hrubnik A. O. Analiz gazovih vikidiv virobnictva kal'cinovanoï sodi ta tekhnologiya zmeshennya vikidiv amiaku v atmosferu. Zbirnik materialiv 4-go Mizhnarodnogo kongresu Zahist navkolishn'ogo seredovishcha. Energooshchadnist'. Zbalansovane prirodokoristuvannya. 21-23 veresnya 2016 r. S. 127.

14. Hrubnik A. O. Potencial vikoristannya VER sodovoï promislovosti. Ekologo-energetichni problemi suchasnosti. Zbirnik naukovih prac' vseukraïns'koï naukovo - tekhnichnoï konferencii molodih uchenih ta studentiv. Odesa, 14 kvitnya 2017 r. Vidavnictvo ONAHT, 2017r. S. 18–20.

15. Moiseev V. F., Manojlo Є. V., Hrubnik A. O. Udoskonalennya tekhnologii sodovogo virobnictva z metoyu skorochennya vikidiv u navkolishne seredovishche. V.F. Suchasni problemi biologii, ekologii ta himii: zbirnik materialiv V Mizhnarodnoï naukovo-praktichnoï konferencii, prisvyachenoï 30-richchyu biologichnogo fakul'tetu Zaporiz'kogo nacional'nogo universitetu (Zaporizhzhya, 26–28 kvitnya 2017 r.). Zaporizhzhya: AA Tandem, 2017. S. 211–213.

16. Hrubnik A.O. Udoskonalennya malovidhodnoï tekhnologii gazoochistki u virobnictvi kal'cinovanoï sodi. Informacijni tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: tezi dopovidej HXVI mizhnarodnoï naukovo-praktichnoï konferencii MicroCAD-2018, 16–18 travnya 2018r.: u 4 ch. CH. II. za red. prof. Sokola Є.I. Harkiv: NTU «HPI». S. 222.

17. Hrubnik A.O. Pidvishchennya ekologichnoï bezpeki za rahunok vprovadzhennya vihrovih aparativ pri provedenni procesu absorbcii amiaku u sodovij promislovosti. III Mizhnarodna naukovo-praktichna konferenciya magistrantiv ta aspirantiv, 17-20 kv. 2018 r.: materialy konf.: u 3-h ch. – CH. 3 / za red.. prof. Є.I. Sokola. – Harkiv: NTU «HPI», 2018. S. 29.

18. Pitak I. V., SHaporev V. P., Hrubnik A. O. Issledovanie processa suhoj gidratacii kuskovoj izvesti v gidratorah razlichnogo tipa. Materials of the

XIV International scientific and practical Conference Science and civilization. January 30 – February 7, 2018. Construction and architecture. Mathematics. Modern information technology. Technical science. Physics. Chemistry and chemical technology: Sheffield. Science and education LTD. PP. 77–84.

19. Shaporev V., Pitak O., Pitak I., Hrubnik A., Moiseev V. Investigation of the process of saturation of the filter liquid of soda production with ammonia and carbon dioxide in the production of ammonium chloride. *International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange (DSMIE-2018)*, Sumy, Ukraine, June 2018. 12 p.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ З ПРОБЛЕМИ УДОСКОНАЛЕННЯ АПАРАТІВ ВИХРОВОГО ТИПУ.....	10
1.1 Сучасні проблеми використання ПГКЛ-II у содовому виробництві.....	10
1.2 Аналіз конструкції апаратів вихрового типу.....	11
1.3 Основні конструкції масообмінних апаратів з примусовим розпиленням робочої рідини.....	15
1.4 Гідродинаміка і енерговитрати в розпилювальних апаратах.....	30
1.5 Масовіддача в газовій фазі в розпилювальних апаратах.....	35
1.6 Інтенсифікація промивача газу колон-II у виробництві кальцинованої соди.....	38
1.7 Обґрунтування напрямку дослідження.....	39
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ВИХРОВОГО АПАРАТУ...	42
2.1 Опис лабораторної установки.....	42
2.2 Дослідження гідравлічного опору вихрового апарату.....	43
2.3 Методика дослідження ефективності масообмінних процесів вихрового апарату.....	45
2.4 Методика визначення коефіцієнту масовіддачі в газовій фазі по зволоженню повітря парами води.....	46
2.5 Методика визначення концентрації кисню у воді по методу Вінклера.....	50
2.6 Методика розрахунку коефіцієнту $\beta_{ж}$	53
2.7 Методика математичного моделювання тривимірного потоку газорідинної суміші в апараті.....	54
2.8. Постановка задачі та числове моделювання гідродинаміки течії робочого середовища в апараті.....	56
2.9. Числове моделювання двофазних потоків в апараті.....	58

2.10. Числова реалізація математичної моделі ньютонівської рідини...	63
2.11. Методика для розрахунку тривимірної течії в'язкої рідини.....	64
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВИХРОВОГО АПАРАТУ	68
3.1. Дослідження гідравлічного опору вихрового апарату.....	68
3.2 Дослідження масовіддачі у рідкій фазі у вихровому апараті.....	70
3.3 Дослідження бризкоунесення у вихровому апараті.....	74
3.4. Дослідження ефективності розробленого вихрового апарату при абсорбції від аміаку.....	77
3.5. Висновки за розділом	83
РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ У ВИХРОВОМУ АПАРАТІ.	84
4.1 Дослідження особливостей течії потоків у вихровому апараті.....	84
4.2 Дослідження особливостей течії потоків уздовж апарату в залежності від витрати газу.....	92
4.3 Висновки за розділом	97
РОЗДІЛ 5. РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПРАКТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ ВИХРОВОГО АБСОРБЦІЙНОГО АПАРАТУ У ВИРОБНИЦТВІ СОДИ.....	98
5.1. Розробка технології абсорбції аміаку у вихрових апаратах у виробництві кальцинованої соди.....	98
5.2. Переваги конструкції запропонованого вихрового абсорбера.....	104
ВИСНОВКИ.....	110
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	112
ДОДАТКИ.....	125