

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Брянкін Сергій Серафимович

УДК 66.074.2

ДИСЕРТАЦІЯ

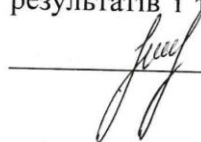
**ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА НАВКОЛИШНЄ
СЕРЕДОВИЩЕ ВІД ПИЛОВИХ ВИКИДІВ ХІМІЧНИХ ТА ПЕРЕРОБНИХ
ВИРОБНИЦТВ**

101 – Екологія

10 – Природничі науки

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії (PhD)

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

 С. С. Брянкін

Науковий керівник:

Пітак Інна Вячеславівна

кандидат технічних наук, доцент

Харків – 2021

*Ідентичність да змісту
змісту примірника
дисертації засвідчує.*
Вчений секретар Закарпатської
22.03.21



АНОТАЦІЯ

Брянкін С. С. Зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище від пилових викидів хімічних та переробних виробництв. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії (PhD) з галузі знань 10 Природничі науки, за спеціальністю 101 Екологія. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2021.

Дисертаційна робота присвячена питанням екологічної безпеки атмосферного повітря на основі вдосконалення методологічного підходу до розробки комплексного очищення від пилу на виході з пилоочисної системи завдяки запропонованій структурі пило-газових систем. Дослідження і теоретичне обґрунтування процесу розподілу фаз в структурних очисних підсистемах є актуальною науково-прикладною задачею, вирішення якої дозволить покращити екологічну безпеку в умовах техногенного пилового забруднення атмосферного повітря.

Мета наукового дослідження полягає у досягненні комплексного ефекту ступеню очищення від пилу на виході з пилоочисної системи, на основі розробки структури комбінованих систем сухої очистки пилу, підвищення екологічної безпеки в наслідок зменшення мікропилових частинок у викидах.

Для досягнення поставленої мети розроблено і обґрунтовано конструкцію пиловловлюючих систем нового типу, що поєднують принципи дії відцентрових і жалюзійно-вихрових апаратів, гетерогенних реакторів для системи газ-тверде тіло з двома потоками, які знаходяться в циклонах різного типу, з камерами попереднього зштовхування газопилових потоків. Надані принципи удосконалення пилоочисних систем, що використовуються в якості основного апарату вихрової камери. Створено фізичні моделі комбінованих систем пиловловлення для заданих початкових умов. На основі теоретичних положень стосовно розподілу фаз частинок у пиловловлювачах і експериментальних даних обґрунтовано працездатність запропонованих

комбінованих систем. Доведено доцільність додаткового введення в підсистему інженерно-технічного управління для зменшення техногенної небезпеки процесу сухого очищення, додаткові заходи зі зміни фазового розподілу часток пилу при очищенні. За результатами експериментальних досліджень процесу сухого очищення газопилового потоку за відповідною фізичною моделлю встановлені механізми розділення фаз і параметри, які пов'язані з коагуляцією часток пилу, деструкції газових домішок, що дозволяє отримати синергетичний ефект у результаті очищення газопилового потоку від пилу.

На основі висновків із аналізу науково-практичних робіт з розробки пиловловлюючих систем визначено, що більш перспективним напрямом для підвищення ступеня очищення газодисперсних потоків при подачі газодисперсної системи у відцентровий апарат є створення гідродинамічних умов, які б забезпечували агломерацію дрібних частинок, розміром менше 10 мкм. Для створення таких умов необхідно, щоб конструкція пиловловлювача (системи) крім зони традиційно відцентрових апаратів включала попередню зону, в якій спостерігається інтенсивний вихровий потік, наявне інтенсивне зштовхування частинок пилу. Таким чином, необхідним і доцільним є створення удосконалених конструкцій пилоочисних систем комбінованої дії.

Попередній аналіз теоретичного матеріалу з очищення від пилу показав, що існує залежність отримання екологічного ефекту від очищення за рахунок зміни величини та напрямку осередненої швидкості потоку. Відповідно до величини швидкості переміщення газової суміші виникають мікроінерційні сили, які викликають маломасштабні перпендикулярні до стінок сепаратора вихори високої інтенсивності. Зменшення величини їх пульсацій і прискорення забезпечує рух рідкої фракції вздовж стінок сепаратора.

Доведено, що частота пульсацій і параметри механізму сепарації при течії в апараті мілкодисперсних частинок залежать від розподілу швидкостей потоку w_0 в координатах W_x , W_y , W_z . Базуючись на відомих положеннях теорії агломерації при зштовхуванні частинок пилу доведено, що зазначені вище критерії і умови змін швидкості дисипації турбулентної енергії

забезпечуватимуть інтенсивний процес агрегування частинок пилу.

Доведено, що комбінований ефект очищення у разі перебігу процесу деструкції токсичних газових домішок і зниженні у такому разі забрудненості пилом викидів досягається завдяки дотриманню відповідних температурних умов паралельно з процесами сепарації.

Розроблена і запропонована для теоретичного обґрунтування ефективності роботи пиловловлюючого обладнання модель течії газодисперсної системи у вихровій трубі за умови перебігу автономного процесу; стаціонарного тепло- і масоперенесення, осесиметричної течії вихрового потоку. Розв'язана система рівнянь, що описує течію газодисперсного потоку у вихровій трубі. Запропоновані рівняння, які визначають компоненти швидкості течії після завихрювача і вздовж труби, характер руху аерозолу у пограничному шарі та руху дисперсної фази у трубі після зони завихрювача.

Доведено, що незалежно від фракційного складу пилу при підвищенні температури до 1100 °С ступінь сепарації частинок пилу розміром більше 5 мкм зменшується на 10–15%, а відсоток частинок менше 5 мкм в інтервалі температур 600–1100 °С зростає на 20–25%. Установлено, що останній ефект для частинок менше 5 мкм пов'язаний з виникненням сил термофореза. Ці визначені умови перебігу очищення є основою для розробки запропонованих технологічних рішень щодо суттєвого підвищення екологічного ефекту при сепараційному очищенні вихідних газів від пилу.

Сформульовані основи для масштабування реакторів від лабораторного зразка до промислового реактора для збереження досягнутої екологічної ефективності запропонованих заходів очищення відповідно до математичної моделі, за якою визначається розподіл частинок пилу і час їх перебування в певних зонах на основі опису Марковських дискретних процесів.

З метою підвищення екологічної ефективності сепарації та зниження гідравлічного опору в запропонованих схемах комбінованого принципу систем сухого газоочищення розроблені науково-обґрунтовані практичні рекомендації до проектування та інженерних методик розрахунку конструктивних

параметрів для удосконалення комбінованих сепараційних систем.

Ключові слова: екологічна безпека, пилове забруднення, очистка, сепарація, модель розділення фаз, концентрація пилових частинок, показник еко-небезпечності пилу, вихрова труба, аерозоль, екологічна ефективність.

Список публікацій здобувача

1. Шапоров В. П., Пітак І. В., Пітак О. Я., Брянкін С. С. Дослідження функціонування вихрової труби при подачі в трубу дисперсного потоку (газ-частинки пилю). *Технологический аудит и резервы производства*. 2017. №4/3(36). С. 14–21.
2. Shaporev V., Pitak I., Pitak O., Briankin S. Study of functioning of a vortex tube with a two-phase flow. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. №4/10(88). P. 51–61.
3. Pitak I., Briankin S., Pitak O., Shaporev V., Petrukhin S. Influence of the inlet flow swirler construction on hydrodynamics and efficiency of work. *Technology audit and production reserves*. 2017. №5/3 (27). P. 14–22.
4. Pitak I., Briankin S., Pitak O., Shaporev V. Analysis of the sanitary purification of gas emissions from dust in the lime manufacture. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2017. Vol. 5(12). P. 65–73.
5. Pitak I., Shaporev V., Pitak O., Briankin S., Ponomareva N. Substantiation of choosing the design of a reactor-dust collector with two colliding flows. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2018. Vol. 3/10 (93). P. 28–35.
6. Pitak I., Shaporev V., Pitak O., Briankin S., Vasilyev M. Generalization of the aerodynamic characteristics of the cyclone and vortex chambers during their functioning. *Technology audit and production reserves*. 2018. № 2 (3(40)). P. 28–34.
7. Pitak I., Shaporev V., Briankin S., Komarysta B., Nechyporenko D. Development of a highly efficient combined apparatus (A combination of vortex chambers with a bin) for dry deducting of gases. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2019. Vol. 3/10 (99). P. 49–55.
8. Установка для утилізації тепла і очистки димових газів: пат. на корисну модель №145343 Україна; заявл. 28.02.2020; опубл. 10.12.2020, бюл. № 23/2020.
9. Брянкін С. С., Пітак І. В., Шапоров В. П. Знепилювання при виробництві керамічних матеріалів. *Розвиток прикладної науки, освіти та студентського*

самооцінювання на Буковині: Всеукраїнська наукова конференція присвячена 20-річчю з дня заснування Чернівецького факультету Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (м. Чернівці, 26–27 травня 2017). м. Чернівці, 2017. С. 19–21.

10. Pitak I., Shaporev V., Hrubnik A., Briankin S. Investigation of the lime slaking with water in sodium production. “*Science and society*”: 8th International conference (Hamilton, Canada, 9 of November, 2018). Hamilton, 2018. P. 56–66.

11. Питак І. В., Брянкин С. С., Питак О. Я., Шапорев В. П. Адсорбери с виброкипящим слоем для санитарной очистки газов. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: міжнародна наукова конференція MicroCAD, Ч. IV* (м. Харків, травень, 2018). м. Харків, 2018. С. 39.

12. Pitak I., Briankin S., Pitak O., Shaporev V. Combined apparatus for dry cleaning of gases. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Міжнародна наукова конференція MicroCAD, Ч. IV* (м. Харків, травень, 2019). м. Харків, 2019. С. 18.

13. Питак І. В., Брянкин С. С., Питак О. Я., Шапорев В. П. Экологическое воспитание в процессе обучения. *Інженерна освіта у сфері харчової і готельної індустрії: виклики сьогодення» до 50-річчя кафедри устаткування харчової і готельної індустрії ім. М. І. Беляєва: Міжнародна науково-методична конференція* (м. Харків, 23–24 травня 2019). м. Харків, 2019. С. 84–86.

ABSTRACT

S. Briankin. Reduction of the man-made load on the environment from dust emissions from chemical and processing industries. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in the field of knowledge 10 Natural Sciences, specialty 101 Ecology. – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2021.

The thesis is devoted to the environmental safety of atmospheric air on the basis of improving the methodological approach to the development of complex dust removal at the outlet of the dust-cleaning system due to the proposed structure of dust-gas systems. Research and theoretical substantiation of the phase distribution process in structural treatment subsystems is an urgent scientific and applied problem, the solution of which will improve environmental safety in conditions of man-made dust pollution of atmospheric air.

The aim of the research is to achieve a complex effect of the degree of cleaning from dust at the exit from the dust cleaning system, based on the development of the structure of combined dry dust cleaning systems, improving environmental safety as a result of reducing micro-saw particles in emissions.

To achieve this aim, the design of a new type of dust collection systems has been developed and substantiated, combining the principles of operation of centrifugal and louvered-vortex devices, heterogeneous reactors for a gas-solid system with two flows that are in cyclones of different types, with chambers for preliminary collision of gas and dust flows. Provided principles for improving dust collection systems used as the main apparatus of the vortex chamber. Physical models of combined dust collection systems for given initial conditions have been created. On the basis of theoretical provisions regarding the separation of the phases of particles in dust collectors and experimental data, the performance of the proposed combined systems has been substantiated. The expediency of additional introduction into the subsystem of engineering and technical management to reduce the man-made

hazard of the dry cleaning process, additional measures to change the phase distribution of dust particles during cleaning have been proved. Based on the results of experimental studies of the process of dry cleaning of a gas and dust stream according to an appropriate physical model, the mechanisms of phase separation and parameters related to the coagulation of dust particles, destruction of gas impurities have been established, which makes it possible to obtain a synergistic effect as a result of cleaning the gas and dust stream from dust.

Based on the conclusions from the analysis of scientific and practical work on the development of dust-collecting systems, it has been determined that a more promising direction for increasing the degree of purification of gas-dispersed flows when feeding a gas-dispersed system into a centrifugal apparatus is the creation of hydrodynamic conditions that ensure the agglomeration of small particles with a size of less than 10 microns. To create such conditions, it is necessary that the design of the dust collector (system), in addition to the zone of traditionally centrifugal apparatus, include a preliminary zone in which an intense vortex flow is observed, there is an intense collision of dust particles. Thus, it is necessary and expedient to create improved designs of saw-point systems of combined action.

A preliminary analysis of the theoretical material on dust removal shows that there is a dependence of obtaining an environmental effect on cleaning due to a change in the magnitude and direction of the averaged flow rate. In accordance with the magnitude of the speed of movement of the gas mixture, micro-inertia forces arise, which cause small-scale vortices of high intensity perpendicular to the walls of the separator. A decrease in the magnitude of their pulsations and acceleration ensures the movement of the liquid fraction along the walls of the separator.

It is proved that the frequency of pulsations and the parameters of the separation mechanism during the flow of fine particles in the apparatus depend on the distribution of flow w_0 velocities in the coordinates W_X , W_Y , W_Z . Based on the well-known provisions of the theory of agglomeration during collision of dust particles, it is proved that the above criteria and conditions for changes in the rate of dissipation of turbulent energy provide an intensive process of aggregation of dust particles.

It is proved that the combined effect of cleaning in the case of the process of destruction of toxic gas impurities and the reduction in this case of dust pollution of emissions is achieved due to the observance of the appropriate temperature conditions in parallel with the separation processes.

A model of the flow of a gas-dispersed system in a vortex tube during a self-similar process has been developed and proposed for the theoretical substantiation of the efficiency of dust-collecting equipment; stationary heat and mass transfer, axisymmetric vortex flow. The system of equations describing the flow of a gas-dispersed flow in a vortex tube has been solved. The proposed equations that determine the components of the flow velocity after the swirler and along the pipe, the nature of the aerosol movement in the boundary layer and the movement of the dispersed phase in the pipe after the swirler zone.

It is proved that regardless of the fractional composition of dust, when the temperature rises to 1100 °C, the separation degree of dust particles larger than 5 microns decreases by 10–15%, and the percentage of particles less than 5 microns in the temperature range 600–1100 °C increases by 20–25%. It is found that the latter effect for particles less than 5 μm is associated with the appearance of thermophoresis forces. These specific conditions for the course of cleaning are the basis for the development of the proposed technological solutions for a significant increase in the environmental effect during the separation cleaning of exhaust gases from dust.

Foundations are formulated for scaling reactors from a laboratory sample to an industrial reactor to maintain the achieved environmental efficiency of the proposed cleaning measures in accordance with a mathematical model, which determines the distribution of dust particles and their residence time in certain zones based on the description of Markov discrete processes.

In order to increase the ecological efficiency of separation and reduce the hydraulic resistance in the proposed schemes of the combined principle of dry gas cleaning systems, scientifically grounded practical recommendations for the design and engineering methods of calculating design parameters for improving the combined separation systems have been developed.

Keywords: environmental safety, dust pollution, cleaning, separation, phase separation model, concentration of dust particles, dust eco-hazard indicator, vortex tube, aerosol, environmental efficiency.

Spysok publikatsii zdobuvacha

1. Shaporev V. P., Pitak I. V., Pitak O. Ya., Briankin S. S. Doslidzhennia funktsionuvannia vykhrovoi truby pry podachi v trubu dyspersnoho potoku (haz-chastynky pylu). *Tekhnolohycheskyi audyt y rezurvy proyzvodstva*. 2017. №4/3(36). S. 14–21.
2. Shaporev V., Pitak I., Pitak O., Briankin S. Study of functioning of a vortex tube with a two-phase flow. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. №4/10(88). P. 51–61.
3. Pitak I., Briankin S., Pitak O., Shaporev V., Petrukhin S. Influence of the inlet flow swirler construction on hydrodynamics and efficiency of work. *Technology audit and production reserves*. 2017. №5/3 (27). P. 14–22.
4. Pitak I., Briankin S., Pitak O., Shaporev V. Analysis of the sanitary purification of gas emissions from dust in the lime manufacture. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2017. Vol. 5(12). P. 65–73.
5. Pitak I., Shaporev V., Pitak O., Briankin S., Ponomareva N. Substantiation of choosing the design of a reactor-dust collector with two colliding flows. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2018. Vol. 3/10 (93). P. 28–35.
6. Pitak I., Shaporev V., Pitak O., Briankin S., Vasilyev M. Generalization of the aerodynamic characteristics of the cyclone and vortex chambers during their functioning. *Technology audit and production reserves*. 2018. № 2 (3(40)). P. 28–34.
7. Pitak I., Shaporev V., Briankin S., Komarysta B., Nechyporenko D. Development of a highly efficient combined apparatus (A combination of vortex chambers with a bin) for dry deducting of gases. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2019. Vol. 3/10 (99). P. 49–55.
8. Ustanovka dlia utylizatsii tepla i ochystky dymovykh haziv: pat. na korysnu model №145343 Ukraina; zaiavl. 28.02.2020; opubl. 10.12.2020, Biul. № 23/2020.
9. Briankin S. S., Pitak I. V., Shaporev V. P. Znepyliuvannia pry vyrobnytstvi keramichnykh materialiv. *Rozvytok prykladnoi nauky, osvity ta studentskoho*

samovriaduvannia na Bukovyni: Vseukrainska naukova konferentsiia prysviachena 20-richchiu z dnia zasnuvannia Chernivetskoho fakultetu Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «Kharkivskiyi politekhnichniy instytut» (m. Chernivtsi, 26–27 travnia 2017). m. Chernivtsi, 2017. S. 19–21.

10. Pitak I., Shaporev V., Hrubnik A., Briankin S. Investigation of the lime slaking with water in sodium production. “*Science and society*”: 8th International conference (Hamilton, Canada, 9 of November, 2018). Hamilton, 2018. P. 56–66.

11. Pytak Y. V., Briankyn S. S., Pytak O. Ya., Shaporev V. P. Adsorbertyi s vibrokiptyaschim sloem dlya sanitarnoy ochistki gazov. *Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia: Mizhnarodna naukova konferentsiia MicroCAD, Ch. IV* (m. Kharkiv, traven, 2018). m. Kharkiv, 2018. C. 39.

12. Pitak I., Briankin S., Pitak O., Shaporev V. Combined apparatus for dry cleaning of gases. *Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia: Mizhnarodna naukova konferentsiia MicroCAD, Ch. IV* (m. Kharkiv, traven, 2019). m. Kharkiv, 2019. C. 18.

13. Pytak Y. V., Briankyn S. S., Pytak O. Ya., Shaporev V. P. Ekolohycheskoe vospytanye v protsesse obuchenya. *Inzhenerna osvita u sferi kharchovoi i hotelnoi industrii: vyklyky sohodennia» do 50-richchia kafedry ustatkuvannia kharchovoi i hotelnoi industrii im. M. I. Beliaieva: Mizhnarodna naukovo-metodychna konferentsiia* (m. Kharkiv, 23–24 travnia 2019). m. Kharkiv, 2019. S. 84–86.

ЗМІСТ

Вступ	4
Розділ 1 Аналітичний огляд сучасних методів та засобів знешкодження техногенного навантаження на навколишнє середовище від пилових викидів.....	13
1.1 Методи очистки промислових газових викидів від пилу.....	15
1.2 Обґрунтування актуальності роботи, аналіз і постановка завдань дослідження.....	30
Розділ 2 Теоретичне обґрунтування процесів сухого пилоочищення відпрацьованих газів з використанням комбінованих пилоочисних систем (апаратів).....	33
2.1 Початкові умови створення екотехнологічних рішень.....	33
2.2 Сепарація мілкодисперсних частинок за рахунок турбулентної дифузії.....	34
2.3 Аналіз гідродинамічних умов у відцентрованих пилоочисних апаратах після введення в них газопилового потоку.....	43
Висновки.....	51
Розділ 3 Дослідження екологічності процесу сепарації дисперсного уносу в комплексному апараті: вихрова труба-сепаратор з форбункером.....	53
3.1 Екологічно-ефективні процеси в середині вихрової труби.....	53
3.2 Обґрунтування розрахунку течії вихрового потоку в вихровій трубі.	66
Висновки.....	87
Розділ 4 Дослідження екологічної ефективності комбінованої системи сухого пилогазоочищення на основі вихрової труби і інерційного сепаратора в промислових умовах.....	88
4.1 Випробування комбінованої системи вихрової труби і інерційного сепаратора за умови зниження рівня екобезпеки на виробництві.....	88
4.2 Результати досліджень процесу пиловловлення у різних галузях.....	99
Висновки.....	109

Розділ 5 Реактор-пиловловлювач з двома газодисперсними потоками з підвищеним рівнем екологічної якості	110
5.1 Обґрунтування створення апарату очистки від пилу з поєднанням декількох реакційних зон.....	110
5.2 Результати експерименту при проведенні досліджень для різних швидкостей потоків твердих частинок і повітря.....	120
Висновки.....	130
Загальні висновки	131
Список використаних джерел.....	133
Додаток А.....	147
Додаток Б.....	148
Додаток В.....	150