

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

БРЯНКІН ОЛЕКСАНД СЕРАФИМОВИЧ

УДК 628.543


ДИСЕРТАЦІЯ
ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ МЕТАЛУРГІЙНИХ
ВИРОБНИЦТВ ШЛЯХОМ ОЧИЩЕННЯ, ЗНЕВОДНЕННЯ ТА
УТИЛІЗАЦІЇ ШЛАМІВ

101 – Екологія

10 – Природничі науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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



О. С. Брянкін

Науковий керівник

Цейтлін Мусій Абрамович,

доктор технічних наук, професор

*Згідно з рішенням
з техніч. комісії
дисертації засвідчено
вченим секретарем
проф. Заковерого
03.02.2021*



АНОТАЦІЯ

Брянкін О. С. Підвищення екологічної безпеки металургійних виробництв шляхом очищення, зневоднення та утилізації шламів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 – Екологія (10 – Природничі науки). – 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 очищення шламів мокрої газоочистки металургійного виробництва на основі флокуляції та седиментації завислих часток.

Предмет досліджень – рішення питань екологічної безпеки при очищенні та зневодненні шламів металургійних підприємств на основі запропонованих методик пошуку оптимальних умов флокуляції і збереження міцності флокул при їх транспортуванні для агрегатоутворення твердої фази.

Дисертаційне дослідження присвячене розв'язанню задач екобезпеки при пошуку оптимальних умов очищення та зневоднення тонкодисперсних шламів металургійних виробництв з використанням інноваційного рішення щодо процесу агрегатоутворення завислих часток шляхом флокуляції твердої фази.

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

Перший розділ присвячено аналізу та систематизації наукових і статистичних даних, отриманих з джерел інформації, щодо впливу

металургійного виробництва на екологічний стан навколишнього середовища, сучасних методів очищення стічних вод і шламів, процесів зневоднення та утилізації осадів підприємств металургійної галузі. Визначені основні тенденції з пошуку шляхів розв'язання задач екологічної безпеки на металургійних підприємствах відповідно до методів інтенсифікації процесу очищення стічних вод і шламів при використанні флокулянтів, для яких позначені оптимальні умови використання для підвищення рівня безпечності та екологічної якості на виробництві. На підставі аналізу обґрунтовано наукові задачі дисертаційного дослідження.

У другому розділі наведено характеристику засобів та методів дослідження технологічних рішень для підвищення екологічної ефективності очищення шламів на основі флокуляції. Лабораторні досліди з вивчення флокуляції і особливостей змін швидкості осідання флокул, визначення гідродинамічного впливу на флокули, встановлення складу та властивостей речовин здійснювалось за допомогою об'ємних, вагових та фізико-хімічних методів дослідження за стандартними методиками. Експериментальні роботи з модельними шламами проводилися в лабораторії кафедри хімічної техніки та промислової екології НТУ «ХП» і відокремленій аналітичній лабораторії ТОВ «НТЦ «Екомаш».

Третій розділ присвячений результатам експериментальних дослідів флокуляції тонкодисперсних шламів, проведених в лабораторних умовах з модельними суспензіями і в промислових умовах на реальних стічних водах металургійних виробництв на модулі очищення стічних вод. У розділі досліджені питання екологічної безпеки при отриманні металонаповнених композитів з використанням відходів металургійного виробництва.

За експериментальними дослідями отримані такі результати:

– досліджено вплив концентрації твердої фази модельних шламів мокрої очистки газу і витрати флокулянту на зміни величини швидкості осідання твердої фази і міцності флокул;

- визначена оптимальна концентрація твердої фази, при якій флокуляція здійснюється найбільш ефективно, а саме для дослідженого виду шламу вона склала 8–12 г/л;

- встановлено, що зміни швидкості руху рідини додатково на і понад 1–1,5 м/с призводить до значного руйнування флокул, що є більш дієвим за тривалість перебігу процесу за висновками дослідження гідромеханічного впливу на агрегати, руйнуюча дія якого залежить від концентрації твердої фази, часу та інтенсивності перемішування сфлокульованого шламу;

- виявлено, що вологість осаду та ефективність затримання твердої фази залежить від міцності флокул перед центрифугою;

- встановлена залежність міцності флокул від параметрів агрегатоутворення (концентрації, витрати флокулянта та продуктивності) за результатами дослідження ефективності затримання твердої фази і зневоднення тонкодисперсних шламів металургійного підприємства на модулі очищення і зневоднення шламу;

- визначені умови утилізації дрібнодисперсного пилу ливарних виробництв в якості наповнювача композитів холодного затвердіння за результатами дослідження впливу дисперсної твердої фази металевих відходів на міцність та експлуатаційні характеристики металонаповнених епоксидних композитів.

У четвертому розділі подані результати статистичної обробки даних експериментів, математичного моделювання процесів очищення й зневоднення шламів та пошуку оптимальних значень параметрів утилізації з урахуванням вимог екологічної безпеки для металургійного виробництва. За отриманими аналітичними даними надані такі висновки:

- встановлені розрахункові залежності дозволяють визначати кількість флокулянту або швидкість осадження флокул при врахуванні інших чинників, вплив факторів агрегатоутворення на зміну швидкості осідання твердої фази і залишкову міцність флокул після гідродинамічного впливу;

– визначені розрахункові залежності для промислового модуля надають можливість оперативно розрахувати концентрацію твердої фази в шламi, кількість флокулянту та швидкість осадження флокул до відстійника та після нього, на основі яких робиться заключення про досягнення певного рівня екологічної ефективності зневоднення осаду у центрифугі та відповідності вимогам екобезпеки при утилізації шламів;

– прийнято за оптимальний екобезпечний вміст наповнювача для досліджуваних металонаповнених епоксидних композитів з використанням відходів у концентраційному інтервалі 45–60 % мас.

У п'ятому розділі розроблено науково-обґрунтовані рекомендації щодо вибору оптимальних умов проведення процесу очищення та зневоднення шламів металургійних виробництв і надані такі результати.

1. Визначені мінімальні витрати флокулянту шляхом контролю залишкової швидкості осадження флокул перед зневоднюючим устаткуванням відповідно до запропонованих рекомендацій щодо вибору оптимальних технологічних параметрів очищення стічних вод після очищення газів у металургійному виробництві, методики підбору робочих параметрів устаткування, критерію міцності флокул. Встановлено за необхідне підтримувати постійною концентрацію твердої фази у стічній воді, що надходить на очищення, або регулювати витрати флокулянту залежно від концентрації твердої фази в шламi для досягнення необхідного критерію міцності флокул і потрібного рівня екологічної безпечності стічних вод.

2. Розроблена удосконалена схема технологічного рішення очищення стічних вод і зневоднення шламів з урахуванням можливості автоматичного управління процесами для досягнення певного рівня екологічної ефективності утилізації шламів.

Ключові слова: вплив стічних вод на довкілля, екологізація виробництва, завислі частки, зневоднення осаду, очищення стічної води, флокуляція, агрегатоутворення, утилізація відходів, ефективність утилізації шламів, екологічна безпека.

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Shkop A., Briankin O., Shestopalov O., Ponomareva N. Investigation of the treatment efficiency of fine-dispersed slime of a water rotation cycle of a metallurgical enterprise. *Technology audit and production reserves*. 2017. Vol. 5, № 3(37). P. 22–29. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.112791>.

2. Maksimenko O., Pancheva H., Madzhd S., Pysanko Y., Briankin O., Tykhomyrova T., Hrebeniuk T. Examining the efficiency of electrochemical purification of storm wastewater at machinebuilding enterprises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 6, № 10 (96). P. 21–27. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.150088> (**Scopus**).

3. Shestopalov O., Briankin O., Tseitlin M., Raiko V., Hetta O. Studying patterns in the flocculation of sludges from wet gas treatment in metallurgical production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 5, № 10 (101). P. 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.181300> (**Scopus**).

4. Shestopalov O., Briankin O., Lebedev V., Troshin O., Muradian A., Ocheretna V., Yaremenko N. Identifying the properties of epoxy composites filled with the solid phase of wastes from metal enterprises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 6, № 10 (102). P. 25–31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186050> (**Scopus**).

5. Shestopalov O., Briankin O., Rykusova N., Hetta O., Raiko V., Tseitlin M. Optimization of floccular cleaning and drainage of thin dispersed sludges. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2020. Vol. 3. P. 75–86. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001239> (**Scopus**).

6. Rykusova N., Shestopalov O., Shchukina L., Briankin O., Galushka Y. Study of the properties of drill cuttings at their use as technogenic raw materials for the production of building ceramics. *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2020. №1. P.10–22.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

1. Брянкін О. С., Шестопапов О. В. Аналіз стічних вод металургійних підприємств. *Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених* :

матеріали XI міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 18–21 квітня 2017 р. 2017. Ч.3. С. 10.

2. Брянкин А. С., Шестопапов А. В. Анализ факторов, влияющих на агрегатообразование твердой фазы. *Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених* : матеріали XII міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 17–20 квітня 2018 р. 2018. Ч.3. С. 13–14.

3. Брянкин О. С., Шестопапов О. В. Шляхи зменшення забруднення докільля стічними водами металургійної галузі. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я* : міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2019, м. Харків, 15–17 травня 2019 р. Ч. IV. С. 27

4. Шестопапов О. В., Брянкин О. С. Дослідження ефективності флокуляції стічних вод металургійного виробництва. *Водопостачання та водовідведення: проектування, будова, експлуатація, моніторинг* : міжнар. наук.-практ. конф., 2019, м. Львів, 23–25 жовтня 2019 р. С. 231–232.

5. Шестопапов А. В., Рыкусова Н. И., Брянкин А. С., Гетта О. С. Разработка структуры исследования агрегатообразования при очистке промышленных сточных вод от взвешенных частиц. *Natural sciences: history, the present time, the future, eu experience* : international scientific and practical conference, 2019, Wloclawek, September 27–28. P. 94–98.

6. Босюк А. С., Брянкин О. С., Шестопапов О. В. Характеристика стічних вод в металургії. *Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених* : матеріали XIII міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 19–22 листопада 2019 р. 2019. Ч.3. С. 545–546.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

1. Шестопапов А. В., Брянкин А. С., Рыкусова Н. И., Гетта О. С. Оптимизация процесса флокуляции очистки промышленных сточных вод. *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2019. № 1(12). С. 55–59.

SUMMARY

Briankin O. Improvement of the environmental safety of metallurgical plants by cleaning, dewatering and utilizing sludge. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 101 – Ecology (10 – Natural Sciences). – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The work is carried out at the Department of Chemical Engineering and Ecology of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

The object of the research is the processes of cleaning sludge from wet gas cleaning of metallurgical production based on flocculation and sedimentation of suspended particles.

The subject of the research is the solution of environmental safety issues during the purification and dehydration of sludge from metallurgical enterprises based on the proposed methods for finding optimal conditions for flocculation and maintaining the strength of floccules during their transportation for the aggregation of the solid phase

The thesis research is devoted to solving environmental safety problems when searching for optimal conditions for cleaning and dewatering fine sludge from metallurgical industries using an innovative solution on the process of aggregation of suspended particles by flocculation of the solid phase.

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

The first section is devoted to the analysis and systematization of scientific and statistical data obtained from information sources on the impact of metallurgical production on the environment, modern methods of wastewater and

sludge treatment, processes of dehydration and disposal of sludge from metallurgical enterprises. The main trends in the search for ways to solve environmental safety problems at metallurgical enterprises in accordance with the methods of intensifying the process of purification of wastewater and sludge using flocculants are determined, for which the optimal conditions of use are indicated to increase the level of environmental safety in production. Based on the analysis, the scientific tasks of the dissertation research are substantiated.

The second section describes the means and methods of researching technological solutions to improve the environmental efficiency of sludge treatment based on flocculation. Laboratory experiments to study flocculation and the characteristics of changes in the sedimentation rate of floccules, to determine the hydrodynamic effect on floccules, to establish the composition and properties of substances are carried out using volumetric, weight and physicochemical research methods according to standard techniques. Experimental work with sludge is carried out in the laboratory of the Department of Chemical Engineering and Ecology of NTU "KhPI" and a secluded analytical laboratory of LLC "STC "Ekomash".

The third section is devoted to the results of experimental studies of flocculation of fine sludge, carried out in laboratory conditions with model suspensions and in industrial conditions on real waste waters of metallurgical plants for wastewater treatment modules. The section investigates the issues of environmental safety in the production of metal-reinforced composites using metallurgical waste.

According to experimental experiments, the following results are obtained:

- the influence of the concentration of the solid phase of model sludge of wet gas cleaning and the flow rate of the flocculant on the change in the rate of sedimentation of the solid phase and the mystics of floccules is investigated;
- the optimal concentration of the solid phase is established, at which flocculation is carried out most effectively, namely, for the investigated type of sludge, it is 8–12 g/l;

- it is found that changes in the speed of fluid movement by more than 1–1.5 m/s lead to significant destruction of floccules, which is more effective than the duration of the process, according to the conclusion of the study of hydromechanical action on aggregates, the destructive effect of which depends on the concentration of the solid phase, time and intensity of mixing flocculated sludge;

- it is found that the moisture content of the sediment and the efficiency of the retention of the solid phase depends on the strength of the floccules before the centrifuge;

- the dependence of the strength of floccules on the parameters of the aggregate-setting (concentration, flocculant consumption and productivity) is established based on the results of a study of the efficiency of the retention of the solid phase and dehydration of fine sludge from a metallurgical enterprise for purification and dehydration modules

- the conditions for the utilization of fine dust from foundries as a filler for cold-curing composites are determined based on the results of a study of the effect of the dispersed solid phase of metal waste on the strength and performance characteristics of metal-filled epoxy composites.

The fourth section presents the results of statistical processing of experimental data, mathematical modeling of sludge treatment and dewatering processes, and the search for optimal values of disposal parameters, taking into account environmental safety requirements for metallurgical production. Based on the analytical data obtained, the following conclusions are obtained:

- calculated dependencies are established that make it possible to determine the amount of flocculant or the deposition rate of floccules, taking into account other factors, the influence of aggregation factors on the change in the sedimentation rate of the solid phase and the residual strength of floccules after hydrodynamic action;

- calculated dependencies for the industrial module are determined that provide an opportunity to quickly calculate the concentration of the solid phase in

the sludge, the amount of flocculant and the sedimentation rate of floccules to the settling tank and after it, on the basis of which a conclusion is made on the achievement of a certain level of environmental efficiency of sludge dewatering in a centrifuge and compliance with environmental safety requirements during disposal sludge;

– accepted as the optimal Eco-friendly content of the filler for the investigated metal-based epoxy composites using waste in a concentration range of 45–60 wt%.

In the fifth section, scientifically grounded recommendations for the choice of optimal conditions for the process of purification and dehydration of sludge from metallurgical industries are developed and the following conclusions are drawn.

1. The minimum costs of the flocculant are determined by controlling the residual sedimentation rate of floccules before dewatering equipment in accordance with the proposed recommendations for the selection of optimal technological parameters for wastewater treatment after gas purification in metallurgical production, methods for selecting operating parameters of equipment, criteria for floccule strength. It is established that it is necessary to maintain a constant concentration of the solid phase in the wastewater supplied for treatment, or to regulate the flow rate of the flocculant depending on the concentration of the solid phase in the sludge to achieve the required criterion of floccule strength and the required level of environmental safety of wastewater.

2. An improved scheme of technological solutions for wastewater treatment and sludge dewatering is developed, taking into account the possibility of automatic control of processes to achieve a certain level of environmental efficiency of sludge disposal.

Keywords: impact of wastewater on the environment, greening of production, suspended particles, sludge dewatering, wastewater treatment, flocculation, aggregation, waste disposal, efficiency of sludge disposal, environmental safety.

Scientific works in which the main scientific results are published:

1. Shkop A., Briankin O., Shestopalov O., Ponomareva N. Investigation of the treatment efficiency of fine-dispersed slime of a water rotation cycle of a metallurgical enterprise. *Technology audit and production reserves*. 2017. Vol. 5, № 3(37). P. 22–29. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.112791>.

2. Maksimenko O., Pancheva H., Madzhd S., Pysanko Y., Briankin O., Tykhomyrova T., Hrebeniuk T. Examining the efficiency of electrochemical purification of storm wastewater at machinebuilding enterprises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 6, № 10 (96). P. 2127. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.150088> (**Scopus**).

3. Shestopalov O., Briankin O., Tseitlin M., Raiko V., Hetta O. Studying patterns in the flocculation of sludges from wet gas treatment in metallurgical production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 5, № 10 (101). P. 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.181300> (**Scopus**).

4. Shestopalov O., Briankin O., Lebedev V., Troshin O., Muradian A., Ocheretna V., Yaremenko N. Identifying the properties of epoxy composites filled with the solid phase of wastes from metal enterprises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 6, № 10 (102). P. 25–31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186050> (**Scopus**).

5. Shestopalov O., Briankin O., Rykusova N., Hetta O., Raiko V., Tseitlin M. Optimization of floccular cleaning and drainage of thin dispersed sludges. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2020. Vol. 3. P. 75–86. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001239> (**Scopus**).

6. Rykusova N., Shestopalov O., Shchukina L., Briankin O., Galushka Y. Study of the properties of drill cuttings at their use as technogenic raw materials for the production of building ceramics. *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2020. №1. P.10–22.

Published works of approbation nature:

1. Briankin O. S., Shestopalov O. V. Analiz stichnykh vod metalurhiinykh pidpriemstv. *Teoretychni ta praktychni doslidzhennia molodykh vchenykh* :

materialy XI mizhnar. nauk.-prakt. konf., m. Kharkiv, 18–21 kvitnia 2017 r. 2017. Ch.3. S. 10.

2. Briankin A. S., Shestopalov A. V. Analiz faktorov, vlyaiushchykh na ahrehatoobrazovanye tverdoi fazy. *Teoretychni ta praktychni doslidzhennia molodykh vchenykh* : materialy XII mizhnar. nauk.-prakt. konf., m. Kharkiv, 17–20 kvitnia 2018 r. 2018. Ch.3. S. 13–14.

3. Briankin O. S., Shestopalov O. V. Shliakhy zmeshennia zabrudnennia dovkillia stichnymy vodamy metalurhiinoi haluzi. *Informatsiini tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia* : mizhnar. nauk.-prakt. konf. MicroCAD-2019, m. Kharkiv, 15-17 travnia 2019 r. Ch. IV. S. 27.

4. Shestopalov O. V., Briankin O. S. Doslidzhennia efektyvnosti flokulyatsii stichnykh vod metalurhiinoho vyrobnytstva. *Vodopostachannia ta vodovidvedennia* : proektuvannia, budova, ekspluatatsiia, monitorynh: mizhnar. nauk.-prakt. konf., 2019, m. Lviv, 23-25 zhovtnia 2019 r. S. 231–232.

5. Shestopalov A. V., Rykusova N. Y., Briankyn A. S., Hetta O. S. Razrobotka struktury yssledovanyia ahrehatoobrazovanyia pry ochystke promyshlennykh stochnykh vod ot vzveshennykh chastyts. *Natural sciences: history, the present time, the future, eu experience* : international scientific and practical conference, 2019, Wloclawek, September 27–28. R. 94–98.

6. Bosiuk A. S., Briankin O. S., Shestopalov O. V. Kharakterystyka stichnykh vod v metalurhii. *Teoretychni ta praktychni doslidzhennia molodykh vchenykh* : materialy XIII mizhnar. nauk.-prakt. konf., m. Kharkiv, 19–22 lystopada 2019 r. 2019. Ch. 3. S. 545–546.

Published works that further reflect the scientific results:

1. Shestopalov A. V., Bryankin A. S., Ryikusova N. I., Getta O. S. Optimizatsiya protsessa flokulyatsii ochistki promyshlennykh stochnykh vod. *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2019. № 1(12). S. 55–59.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Розділ 1 Аналіз літературних даних з дослідження джерел утворення рідких відходів металургійних підприємств та методів їх очищення.....	12
1.1 Аналіз екологічної небезпеки металургійних підприємств та їх впливу на довкілля України.....	12
1.2 Аналіз способів очищення шламових вод.....	20
1.3 Шляхи інтенсифікації агрегатоутворення при флокуляційному очищенні стічних вод.....	24
1.4 Напрямки утилізація твердої фази шламів металургійних виробництв	28
1.5 Обґрунтування напрямку досліджень.....	31
Розділ 2 Методика проведення досліджень.....	37
2.1. Методика лабораторних досліджень закономірностей флокуляції стічних вод мокрої газоочистки	37
2.1.1. Обґрунтування вибору екологічних параметрів з оцінки результатів флокуляції шламів.....	37
2.1.2. Приготування модельних зразків стічної води	38
2.1.3. Методика дослідження швидкості осадження флокул	39
2.2 Методика дослідження флокуляційного очищення промислових стічних вод на експериментальній установці очищення	41
2.2.1. Опис установки очищення і зневоднення шламів.....	41
2.2.2. Методика настройки модуля очищення і зневоднення шламів.....	45
2.2.2.1. Визначення залежності концентрації твердої фази в шламів.....	45
2.2.2.2. Проведення тестів із флокуляції і визначення витрат флокулянтів	45
2.2.2.3 Контроль екологічної якості очищення та зневоднення шламів.....	47

2.3	Методика отримання і дослідження зразків композиційних матеріалів, наповнених твердою фазою відходів металургійного підприємства.....	48
2.4	Методика обробки результатів експериментів і визначення математичних залежностей	51
	Висновки до розділу 2.....	51
	Розділ 3 Результати дослідження задач екологічної безпеки в технології розділення тонкодисперсних шламів	53
3.1	Дослідження закономірностей флокуляції модельних шламів мокрої газоочистки металургійного виробництва.....	53
3.2	Оцінка рівня екобезпеки роботи модуля очищення стічних вод в промислових умовах	59
3.2.1	Дослідження роботи діючої схеми оборотного водопостачання киснево-конвертерного цеху.....	59
3.2.2	Промислові випробування з очищення водооборотної води, до екологічно допустимих рівнів	64
3.2.3	Узагальнені результати випробувань Модуля при роботі з центрифуговими установками різного типу.....	72
3.3	Дослідження властивостей екобезпечних композитів з використанням відходів газоочистки металургійних підприємств	74
3.4	Висновок за розділом 3.....	80
	Розділ 4 Математичне моделювання процесів очистки та утилізації шламів металургійних виробництв	82
4.1	Оптимізація процесу флокуляції очищення промислових стічних вод.....	82
4.2	Закономірності очищення шламів металургійного виробництва на промисловому модулі очищення стічних вод	92
4.3	Оптимізація складу композиту зі вмістом пилу металургійного виробництва.....	97
4.4	Висновок за розділом 4.....	100

Розділ 5 Рекомендації вибору технології обробки шламів відповідно до вимог екологічної безпеки на металургійних підприємствах.....	102
5.1 Рекомендації щодо підвищення екологічності процесу очищення та зневоднення шламів металургійних виробництв.....	102
5.2 Рекомендації щодо екологізації металургійного виробництва ...	109
5.3 Висновок за розділом 5.....	112
Висновки.....	114
Список використаних джерел.....	118
Додаток А Список публікацій здобувача за темою дисертаційної роботи...	133
Додаток Б Акти впровадження результатів наукових досліджень дисертаційної роботи	136