

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

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

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ЛЕОНТЬЄВ ПЕТРО ВОЛОДИМИРОВИЧ**

УДК 681.533.36

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ УСТАНОВКОЮ  
КОМПЛЕКСНОЇ ПІДГОТОВКИ ГАЗУ ДО ТРАНСПОРТУВАННЯ**

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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


 П.В. Леонт'єв

*Згідно з  
за змістом  
присланої  
дисертації  
Вчений  
спеціаліст  
ради Дбч.01*



Науковий керівник  
Кулінченко Георгій Васильович,  
кандидат технічних наук, доцент

Харків – 2021

 Юрій ДОРОШЧУК  
11.10.2021.

## АНОТАЦІЯ

*Леонтьєв П.В.* Автоматизована система керування установкою комплексної підготовки газу до транспортування. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2021.

Дисертаційна робота присвячена розв’язанню науково-практичної задачі підвищення ефективності процесу сепарації вологи з потоку стисненого газу за рахунок зменшення часу та коливальності перехідних процесів в умовах дії нестационарних збурень параметрів потоку газу.

Методи дослідження основані на моделюванні процесів течії газу в об’єкті керування, що ґрунтується на законах газової динаміки та термодинаміки з наступним використанням методів інтегрального та диференціального числення, зокрема методу скінченних елементів. Дослідження динаміки функціонування мехатронного пристрою, що задіяний в системі, здійснюється на базі законів електротехніки та механіки. Лінеаризація об’єкту керування виконується на базі обчислень матриць Якобі. Засоби керування будуються на базі методів теорії автоматичного керування та теорії матричного числення. Для оптимізації режимів сепарації вологи використовуються принципи екстремального регулювання.

Наявність затримок у часі реакції об’єкта на керуючі впливи регулятора зумовлює використання підпорядкованого та адаптивного керування процесами охолодження та сепарації вологи, які супроводжують підготовку газу до транспортування.

Для побудови системи керування вибрана дворівнева структура, що забезпечує зв’язок периферійного обладнання та робочого місця оператора установки.

На базі розроблених моделей процесів підготовки газу до транспортування проведена ідентифікація параметрів експериментальної установки сепарації вологи із потоку повітря та відпрацьовані методи синтезу регуляторів процесу підготовки

газу до транспортування. Використання засобів автоматизації моделювання об'єктів у середовищі MATLAB дозволило отримати багатоточкову лінеаризовану модель об'єкта.

Відповідно до критерію керування, що формулюється як «максимізація витрат осушеного газу при мінімальному відхиленні від температури точки роси», побудовано двоконтурний регулятор процесу сепарації вологи. Внутрішній контур створено за допомогою адаптивного регулятора тиску за табличним методом керування. Налаштування адаптивного регулятора корегуються в залежності від змін параметрів газового потоку, що надходить на дроселювання. Зовнішній контур створено шляхом впровадження екстремального регулювання за кроковим методом, що забезпечує максимізацію витрат осушеного газу та стійкість параметрів під час процесу керування.

Електропривод положення засувки, яке визначає площу перерізу дроселя, тобто режим дроселювання, побудовано на базі крокового двигуна.

В результаті структурно-параметричного синтезу регуляторів установки реалізовано релейні регулятори процесів додаткового охолодження потоку та утримання фазової рівноваги шляхом регулювання рівня конденсату.

З метою впровадження результатів досліджень у промисловість розроблена SCADA-система експериментальної установки сепарації вологи та реалізована мнемосхема керування процесом сепарації.

*Ключові слова:* автоматизована система керування, процес підготовки газу до транспортування, процес сепарації вологи, екстремальний регулятор, електропривод дросельного пристрою, надкритична течія, дисперсність потоку газу, газотранспортна мережа, SCADA-система.

#### Список публікацій здобувача

*Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:*

1. Кулінченко Г. В., Леонтьєв П. В., Ляпощенко О. О. Ідентифікація моделі процесу низькотемпературної сепарації природного газу. *Комп'ютерно-*

*інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. Луцьк, 2014. Вип. 14. С. 149–154.

2. Кулінченко Г. В., Леонт'єв П. В., Коробов А. Г., Свиначенко Д. С. Оценка характеристик электропривода дроссельного устройства. *Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика*. Харків, 2014. № 41 (1084). С. 55–63.

3. Кулінченко Г. В., Павлов А. В, Леонт'єв П. В. Формування підходу до побудови регулятора процесу низькотемпературної сепарації природного газу. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця, 2015, № 6 (123). С. 9–17.

4. Kulinchenko G. V., Leontiev P. V. Modelling a throttling device during separation of moisture from gas flow. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. Харків, 2016. № 4/7 (82). С. 23–29.

5. Кулінченко Г. В., Леонт'єв П. В. Вирішення завдань сепарації вологи на базі SCADA-технології. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця, 2017. № 3. С. 14–23.

6. Kulinchenko H., Leontiev P., Drozdenko O. Development of extreme regulator of separation moisture from the gas stream. *ScienceRise ISSN 2313-8416*. Tallin Estonia, 2021. No. 2 (73). P. 14–23.

7. Кулінченко Г. В., Леонт'єв П. В. Завдання оптимального керування установкою комплексної переробки природного газу. *Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів: матеріали XII міжнар. наук.-тех. конф., м. Кременчук, 8-10 листоп. 2013 р. Кременчук, 2013. С. 23–24.*

8. Кулінченко Г. В., Леонт'єв П. В. Исследование полей течения низкотемпературного сепаратора природного газа. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології: матеріали I міжнар. наук.-тех. конф. молодих учених, аспірантів і студентів АКІТ 2014, м. Київ, 16-17 квіт. 2014 р. Київ, 2014. С. 37–38.*

9. Кулінченко Г. В., Леонт'єв П. В. Оценка управляемости модели низкотемпературной сепарации газа. *Контроль і управління в складних системах: матеріали XII міжнар. конф., м. Вінниця, 14-16 жовт. 2014 р. Вінниця, 2014. С. 3.*

10. Кулінченко Г. В., Леонтєв П. В. Повышение управляемости модели низкотемпературного газового сепаратора. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та законів управління*: матеріали V міжнар. наук.-тех. конф., м. Полтава, 3-4 груд. 2014 р., Полтава, 2014. С. 33–36.

11. Кулінченко Г. В., Леонтєв П. В., Мозок Є. М. Візуалізація дисперсного складу вологи, що міститься в потоці повітря. *Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення*: матеріали всеукр. наук. Інтернет конф., м. Тернопіль, 22-23 груд. 2014 р. Тернопіль, 2014. С. 41–43.

12. Кулінченко Г. В., Леонтєв П. В., Мозок Е. Н., Лістратенко К. О. Online-фіксація параметрів потоку. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології*: матеріали II міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених аспірантів і студентів АКІТ 2015, м. Київ, 15-16 квіт. 2015 р. Київ, 2015. С. 110–111.

13. Павлов А. В., Кулінченко Г. В., Леонтєв П. В. Керування процесом низькотемпературної сепарації природного газу на базі його моделі. *Проблеми інформатики і моделювання*: матеріали XV міжнар. наук.-тех. конф., м. Харків, 14-15 верес. 2015 р. Харків, 2015. С. 54.

14. Кулінченко Г. В., Леонтєв П. В., Журавльов А. С., Коробов А. Г. Моніторинг режимів експериментальної установки сепарації вологи. *Інформаційні технології в освіті техніці та промисловості*: матеріали II всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів., м. Івано-Франківськ, 6-9 жовт. 2015 р. Івано-Франківськ, 2015. С. 234–235.

15. Кулінченко Г. В., Леонтєв П. В., Багута В. А., Черв'яков В. Д. Управление ДКР в составе дросселирующего мехатронного модуля. *Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика*: матеріали всеукр. наук.-практ. конф., м. Полтава, 5 листоп. 2015 р. Полтава, 2015. С. 19–20.

16. Кулінченко Г. В., Леонтєв П. В., Лістратенко К. О. Моделювання охолоджувача установки сепарації вологи. *Перспективи та напрями сучасної електроніки інформаційних і комп'ютерних систем (MEICS-2015)*: матеріали всеукр. наук.-практ. конф., м. Дніпропетровськ, 25-27 листоп. 2015 р. Дніпропетровськ, 2015. С. 37–38.

17. Кулінченко Г. В., Леонтьєв П. В., Лістратенко К. О. Модель охолоджувача повітря для установки сепарації вологи. *Комп'ютерне моделювання в хімії і технологіях та системах сталого розвитку КМХТ-2016: Збірник наук. статей П'ятої міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 18-20 трав. 2016 р. Київ, 2016. С. 29–35.*

18. Кулінченко Г. В., Леонтьєв П. В. Система моніторингу параметрів експериментальної установки відбору вологи. *Контроль і управління в складних системах КУСС 2016: матеріали XIII міжнар. конф., м. Вінниця, 3-6 жовт. 2016 р. Вінниця, 2016. С. 203–205.*

19. Кулінченко Г. В., Леонтьєв П. В., Папета А. О. Дослідження дисперсного складу вологи. *Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів: матеріали XVI міжнар. наук.-тех. конф., м. Кременчук, 3-5 листоп. 2017 р. Кременчук, 2017. С. 102–104.*

20. Дрозденко О. О., Кулінченко Г. В., Леонтьєв П. В., Папета А. О. Тестування алгоритмів оцінки дисперсності вологи. *Сучасні методики, інновації та досвід практичного застосування у сфері технічних наук: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Радомі, 27-28 груд. 2017 р. Радомі, Республіка Польща, 2017. С. 55–59.*

21. Кулінченко Г. В., Леонтьєв П. В. Структурний синтез системи керування процесом сепарації вологи. *Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів: матеріали XVII міжнар. наук.-тех. конф., м. Кременчук, 2-4 листоп. 2018 р. Кременчук, 2018. С. 38–40.*

22. Kulinchenko H., Drozdenko O., Leontiev P., Hrek V. Pressure regulator for low temperature separation process. *Electronics and Information Technologies (ELIT): IEEE 12th international conference, Lviv, May 19-21 2021. Lviv, 2021. P. 315–319.*

## ABSTRACT

**Leontiev P.V. Automated control system for the installation of complex gas preparation for transportation.** – Manuscript.

The dissertation for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.13.07 – Automation of control processes. – The National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, 2021.

The thesis is dedicated to the solution of the scientific and practical issue of increasing the efficiency of the moisture separation process from compressed gas stream by reducing the time and fluctuations of transient processes under the conditions of transient disturbance parameters of the gas stream.

The research methods are based on modelling gas flow processes in the object of control, which is based on the laws of gas dynamics and thermodynamics, followed by the use of methods of integral and differential calculus, in particular the finite element method. The study of the dynamics of the mechatronic device involved in the system is carried out on the basis of the laws of electrical engineering and mechanics. Linearization of the control object is performed on the basis of Jacobian matrix calculus. Controls are based on the methods of automatic control theory and matrix calculus theory. The principles of extreme regulation are used to optimize the modes of moisture separation.

The presence of delays in the reaction time of the object to the control effects of the regulator leads to the use of subordinate and adaptive control of the cooling and moisture separation processes that accompany the preparation of gas for treatment.

A two-tier structure has been chosen to build the control system, which provides communication between the peripheral equipment and the workplace of the unit operator.

On the basis of the developed models of gas treatment preparation processes, the identification of parameters of moisture separation experimental unit from the air flow has been carried out and the methods of synthesis of regulators of gas treatment preparation process have been worked out. The use of object modelling automation tools in MATLAB environment has made it possible to obtain a multipoint linearized object model.

According to the control criterion, which is formulated as "maximization of dried gas consumption with minimal deviation from the dew point temperature", a two-circuit regulator of the moisture separation process is built. The inner circuit is created using an adaptive pressure regulator according to the tabular control method. The settings of the adaptive regulator are adjusted depending on changes in the parameters of the gas flow entering the throttling. The outer circuit is created by introducing extreme control by the step method, which maximizes the stream of dried gas and the stability of the parameters during the control process.

The electric position of the latch, which determines the cross-sectional area of the throttle, i.e. the throttling mode, is built on the basis of a stepper motor.

As a result of structural-parametric synthesis of unit regulators, relay regulators of processes of additional stream cooling and phase equilibrium maintenance by regulation of condensate level have been implemented.

In order to implement the results of research in industry, a SCADA system of moisture separation experimental unit has been developed and a mnemonic scheme of control of the separation process has been implemented.

*Key words:* automated control system, gas treatment preparation process, moisture separation process, extreme regulator, electric throttle device, supercritical flotation, gas stream dispersion, gas transmission network, SCADA system.

#### List of publications of the applicant

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

1. Kulinchenko G. V., Leontiev P. V., Liaposhenko O. O. Identyfikatsiia modeli protsesu nyzkotemperaturnoi separatsii pryrodnoho hazu. *Kompiuterno-intehrovani tekhnolohii: osvita, nauka, vyrobnytstvo. Lutsk*, 2014. V. 14. P. 149–154.

2. Kulinchenko G. V., Leontiev P. V., Korobov A. G., Svyntarenko D. S. Ocenka harakteristik elektroprivoda drossel'nogo ustrojstva. *Visnyk NTU «KhPI». Serii: Problemy udoskonalennia elektrychnykh mashyn i aparativ. Teoriia i praktyka*. Kharkiv, 2014. № 41 (1084). P. 55–63.



3. Kulinchenko G. V., Pavlov A. V., Leontiev P. V. Formuvannia pidkholdu do pobudovy rehuliatora protsesu nyzkotemperaturnoi separatsii pryrodnoho hazu. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*. Vinnytsia, 2015, № 6 (123). P. 9–17.
4. Kulinchenko G. V., Leontiev P. V. Modelling a throttling device during separation of moisture from gas flow. *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii*. Kharkiv, 2016. № 4/7 (82). P. 23–29.
5. Kulinchenko G. V., Leontiev P. V. Vyrishennia zavdan separatsii volohy na bazi SCADA-tekhnolohii. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*. Vinnytsia, 2017. № 3. P. 14–23.
6. Kulinchenko H., Leontiev P., Drozdenko O. Development of extreme regulator of separation moisture from the gas stream. *ScienceRise ISSN 2313-8416*. Tallin Estonia, 2021. No. 2 (73). P. 14–23.
7. Kulinchenko G. V., Leontiev P. V. Zavdannia optymalnoho keruvannia ustanovkoiu kompleksnoi pererobky pryrodnoho hazu. *Fizychni protsesy ta polia tekhnichnykh i biolohichnykh obektiv: materialy XII mizhnar. nauk.-tekh. konf., m. Kremenchuk, 8-10 lystop. 2013 r. Kremenchuk, 2013. P. 23–24.*
8. Kulinchenko G. V., Leontiev P. V. Issledovanie polej techeniya nyzkotemperaturnogo separatora prirodnogo gaza. *Avtomatyzatsiia ta kompiuterno-intehrovani tekhnolohii: materialy I mizhnar. nauk.-tekh. konf. molodykh uchenykh, aspirantiv i studentiv AKIT 2014, m. Kyiv, 16-17 kvit. 2014 r. Kyiv, 2014. P. 37–38.*
9. Kulinchenko G. V., Leontiev P. V. Ocenka upravlyaemosti modeli nyzkotemperaturnoj separacii gaza. *Kontrol i upravlinnia v skladnykh systemakh: materialy KhII mizhnar. konf., m. Vinnytsia, 14-16 zhovt. 2014 r. Vinnytsia, 2014. P. 3.*
10. Kulinchenko G. V., Leontiev P. V. Povyshenie upravlyaemosti modeli nyzkotemperaturnogo gazovogo separatora. *Suchasni napriamy rozvytku informatsiino-komunikatsiinykh tekhnolohii ta zakoniv upravlinnia: materialy V mizhnar. nauk.-tekh. konf., m. Poltava, 3-4 hrud. 2014 r., Poltava, 2014. P. 33–36.*
11. Kulinchenko G. V., Leontiev P. V., Mozok Ye. M. Vizualizatsiia dyspersnoho skladu volohy, shcho mistytsia v pototsi povitria. *Informatsiine suspilstvo:*

*tehnologichni, ekonomichni ta tekhnichni aspekty stanovlennia: materialy vseukr. nauk. Internet konf.*, m. Ternopil, 22-23 hrud. 2014 r. Ternopil, 2014. P. 41–43.

12. Kulinchenko G. V., Leontiev P. V., Mozok Ye. M., Listratenko K. O. Online-fiksatsiia parametriv potoku. *Avtomatyzatsiia ta kompiuterno-intehrovani tekhnologii: materialy II mizhnar. nauk.-prakt. konf. molodykh uchenykh aspirantiv i studentiv AKIT 2015*, m. Kyiv, 15-16 kvit. 2015 r. Kyiv, 2015. P. 110–111.

13. Kulinchenko G. V., Pavlov A. V., Leontiev P. V. Keruvannia protsesom nyzkotemperaturnoi separatsii pryrodnoho hazu na bazi yoho modeli. *Problemy informatyky i modeliuvannia: materialy XV mizhnar. nauk.-tekh. konf.*, m. Kharkiv, 14-15 veres. 2015 r. Kharkiv, 2015. P. 54.

14. Kulinchenko G. V., Leontiev P. V., Zhuravlov A. S., Korobov A. H. Monitorynh rezhymiv eksperymentalnoi ustanovky separatsii volohy. *Informatsiini tekhnologii v osviti tekhnitsi ta promyslovosti: materialy II vseukr. nauk.-prakt. konf. molodykh uchenykh i studentiv.*, m. Ivano-Frankivsk, 6-9 zhovt. 2015 r. Ivano-Frankivsk, 2015. P. 234–235.

15. Kulinchenko G. V., Leontiev P. V., Bahuta V. A., Cherviakov V. D. Upravlenye DKR v sostave drosselyruiushcheho mekhatronnoho modulia. *Elektronni ta mekhatronni systemy: teoriia, innovatsii, praktyka: materialy vseukr. nauk.-prakt. konf.*, m. Poltava, 5 lystop. 2015 r. Poltava, 2015. P. 19–20.

16. Kulinchenko G. V., Leontiev P. V., Listratenko K. O. Modeliuvannia okholodzhuvacha ustanovky separatsii volohy. *Perspektyvy ta napriamky suchasnoi elektroniky informatsiinykh i kompiuternykh system (MEICS-2015): materialy vseukr. nauk.-prakt. konf.*, m. Dnipropetrovsk, 25-27 lystop. 2015 r. Dnipropetrovsk, 2015. P. 37–38.

17. Kulinchenko G. V., Leontiev P. V., Listratenko K. O. Model okholodzhuvacha povitria dlia ustanovky separatsii volohy. *Kompiuterne modeliuvannia v khimii i tekhnologiiakh ta systemakh staloho rozvytku KMKhT-2016: Zbirnyk nauk. statei Piatoi mizhnar. nauk.-prakt. konf.*, m. Kyiv, 18-20 trav. 2016 r. Kyiv, 2016. P. 29–35.

18. Kulinchenko G. V., Leontiev P. V. Systema monitorynhu parametriv eksperymentalnoi ustanovky vidboru volohy. *Kontrol i upravlinnia v skladnykh systemakh*

*KUSS 2016*: materialy KhIII mizhnar. konf., m. Vinnytsia, 3-6 zhovt. 2016 r. Vynnytsia, 2016. P. 203–205.

19. Kulinchenko G. V., Leontiev P. V., Papeta A. O. Doslidzhennia dyspersnoho skladu volohy. *Fizychni protsesy ta polia tekhnichnykh i biolohichnykh obiektiv*: materialy KhVI mizhnar. nauk.-tekh. konf., m. Kremenchuk, 3-5 lystop. 2017 r. Kremenchuk, 2017. P. 102–104.

20. Drozdenko O. O., Kulinchenko H. V., Leontiev P. V., Papeta A. O. Testuvannia alhorytmiv otsinky dyspersnosti volohy. *Suchasni metodyky, innovatsii ta dosvid praktychnoho zastosuvannia u sferi tekhnichnykh nauk*: materialy mizhnar. nauk.-prakt. konf., m. Radomi, 27-28 hrud. 2017 r. Radomi, Respublika Polshcha, 2017. P. 55–59.

21. Kulinchenko H. V., Leontiev P. V. Strukturnyi syntezy systemy keruvannia protsesom separatsii volohy. *Fizychni protsesy ta polia tekhnichnykh i biolohichnykh obiektiv*: materialy KhVII mizhnar. nauk.-tekh. konf., m. Kremenchuk, 2-4 lystop. 2018 r. Kremenchuk, 2018. P. 38–40.

22. Kulinchenko H., Drozdenko O., Leontiev P., Hrek V. Pressure regulator for low temperature separation process. *Electronics and Information Technologies (ELIT)*: IEEE 12th international conference, Lviv, May 19-21 2021. Lviv, 2021. P. 315–319.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. СТАН АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ. ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	17
1.1 Процес підготовки газу до транспортування	17
1.2 Керування установкою підготовки газу до транспортування	22
1.3 Інструментарій синтезу регулятора нелінійного об'єкта з запізненням	30
1.4 Структура системи керування УКПГ	48
1.5 Постановка задач дослідження	51
1.6 Висновки до розділу 1	52
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ	53
2.1 Ідентифікація параметрів процесу дроселювання	53
2.2 Оцінка характеристик електроприводу дросельного пристрою	67
2.3 Моделювання охолоджувача установки сепарації вологи	79
2.4 Ідентифікація результатів керування параметрами потоку газу	86
2.5 Висновки до розділу 2	99
РОЗДІЛ 3. СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРІВ УКПГ	100
3.1 Структурний синтез регулятора параметрів газового потоку	100
3.2 Параметричний синтез системи керування процесу сепарації вологи	107
3.3 Параметричний синтез регулятора температури охолодження	121
3.4 Параметричний синтез регулятора рівня конденсату	129
3.5 Висновки до розділу 3	133
РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ СИНТЕЗОВАНИХ СТРУКТУР	135
4.1 Засади побудови SCADA експериментальної установки	135
4.2 Інструменти реалізації SCADA експериментальної установки	139

	3
4.3 Дослідження налаштувань регуляторів ЕУСВ	150
4.4 Висновки до розділу 4	154
ВИСНОВКИ	156
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	158
ДОДАТКИ	175
ДОДАТОК А Документи впровадження основних результатів роботи	175
ДОДАТОК Б Список публікацій здобувача	179
ДОДАТОК В Структурна схема алгоритму обробки сигналів випромінювання та визначення функцій розподілу	183
ДОДАТОК Г Лістинг програми аналізу дисперсного складу вологи	185