

УДК 517.977.5

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2023.1.7>

**Андрій НЕСТЕРУК**

аспірант кафедри інформаційних систем та технологій, асистент кафедри інформаційних систем та технологій, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», проспект Перемоги, 37, Київ, Україна, індекс 03056 (aonesterukr@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-1563-7245

**Богдан КОРНІЄНКО**

доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних систем та технологій, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», проспект Перемоги, 37, Київ, Україна, індекс 03056 (bogdanko@gmx.net)

ORCID: 0000-0002-2521-0878

**Andrii NESTERUK**

graduate student of the Department of Information Systems and Technologies, assistant of the Department of Information Systems and Technologies, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorskyi Kyiv Polytechnic Institute", 37 Peremogy Avenue, Kyiv, Ukraine, postal code 03056 (aonesterukr@gmail.com)

**Bogdan KORNIYENKO**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Systems and Technologies, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Peremogy Avenue, Kyiv, Ukraine, postal code 03056 (bogdanko@gmx.net)

**Бібліографічний опис статті:** Нестерук, А., Корнієнко, Б. (2023). Системи управління процесами зневоднення та гранулювання у псевдозрідженому шарі. *Інформаційні технології та суспільство*. Вип. 1 (7), 50–58. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2023.1.7>

**Bibliographic description of the article:** Nesteruk, A., Korniyenko, B. (2023). Sistemi upravlinnya protsesami znevodnennya ta granulyuvannya u psevdozridzhenomu shari [Control systems for dehydration and granulation processes in a fluidized bed]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information technology and society*, 1 (7), 50–58. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2023.1.7>

### СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ЗНЕВОДНЕННЯ ТА ГРАНУЛЮВАННЯ У ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ

Розглянуто основні підходи до управління режимами псевдозрідження під час процесів нанесення покриттів і гранулювання в псевдозрідженому шарі. Розвиток систем управління гранулюванням у псевдозрідженому шарі повинен забезпечити роботу в стабільному режимі псевдозрідження, що посилює тепло- і масообмін, а також задану якість готового продукту (гранулометричний склад, низький вологовміст та хороша сипучість). Для управління режимами псевдозрідження використовується аналіз сигналу коливання тиску. Для управління гранулометричним складом застосовуються методи ближньої інфрачервоної спектроскопії та вимірювання відбиття сфокусованого променя. Для управління вологовмістом гранул розглядаються методи акустичної емісії, мікрохвильового резонансу і електроємнісна томографія. На основі контролю температури теплоносія та температури гранул створено систему управління процесом гранулювання у псевдозрідженому шарі.

**Ключові слова:** псевдозріджений шар, система управління, гранулювання, мінеральні добрива.

### CONTROL SYSTEMS FOR DEHYDRATION AND GRANULATION PROCESSES IN A FLUIDIZED BED

The main approaches to control fluidization regimes during the processes of coating and granulation in a fluidized bed are considered. The development of granulation control systems in a fluidized bed should ensure operation in a stable fluidization mode, which enhances heat and mass exchange, as well as the specified quality of the finished product (granulometric composition, low moisture content and good flowability). Analysis of the pressure fluctuation signal is used to control fluidization modes. The methods of near-infrared spectroscopy and measurement of the reflection of a focused beam are used to control the particle size composition. The methods of acoustic emission, microwave resonance and electrocapacitive tomography are considered to control the moisture content of granules. Based on the control of the temperature of the coolant and the temperature of the granules, a control system for the fluidized bed granulation process has been created.

**Key words:** fluidized bed, control system, granulation, mineral fertilizers.

**Постановка проблеми.** Процес гранулювання частинок поширений у різних сегментах виробництва, в хімічній та фармацевтичній промисловості, оскільки значно покращує якість кінцевої продукції за рахунок підвищення механічної стійкості частинок, захист від мікроорганізмів і зовнішніх фізичних

факторів, таких як надмірне тепло, вологість і вплив світла. Крім того, забезпечуються кращі умови обробки за рахунок збільшення розміру та щільності частинок. Дуже важлива стабільність режиму псевдозрідження під час операцій нанесення покриттів і грануляції, що виконуються в псевдозрідженому шарі. Коли відбувається сушіння, з'являються зони без активності, відбувається агломерація частинок, коефіцієнти тепло- і масообміну знижуються, що може призвести до переривання процесу на лічені хвилини. У екстремальних ситуаціях це може призвести до повного руйнування шару. Вміст вологи та діаметр частинок є критичними параметрами, оскільки вони впливають на стабільність псевдозрідження; отже, їх необхідно як відстежувати, так і контролювати [1].

Необхідно щоб система управління в режимі реального часу забезпечувала стабільний режим зволоження, що призводить до однорідного розподілу характеристик твердого матеріалу - щільності, вмісту вологи, розподілу розмірів. Використання системи управління виробництвом мінеральних добрив у грануляторах із псевдозрідженим шаром забезпечує високу відтворюваність якості продукту, покращує функціональну безпеку технологічного процесу, знижує енерговитрати.

**Аналіз попередніх досліджень.** Розглянуто основні підходи до управління режимами псевдозрідження під час процесу гранулювання в псевдозрідженому шарі, що впливають на стабільність системи: аналіз сигналу коливання тиску використовується для управління режимами псевдозрідження, методи ближньої інфрачервоної спектроскопії та вимірювання відбиття сфокусованого променя можуть бути використані для управління гранулометричним складом, методи акустичної емісії, мікрохвильового резонансу і електроємнісна томографія розглядаються як методи для управління вологовмістом гранул, система управління температурою процесу гранулювання у псевдозрідженому шарі.

**Метою статті** є системний аналіз механізмів та підходів до управління процесом гранулювання в псевдозрідженому шарі для забезпечення готового продукту заданої якості.

#### **Виклад основного матеріалу.**

#### **Система управління режимом псевдозрідження у грануляторі з псевдозрідженим шаром**

Стабільний режим псевдозрідження є важливим для забезпечення високої продуктивності процесів, що включають покриття та гранулювання твердих частинок, оскільки в цьому режимі посилюється тепло- та масообмін між твердою та рідкою фазами, що забезпечує контрольоване зростання розміру частинок. Залежно від умов всередині шару, коли вологі частинки стикаються та створюють рідкі з'єднання, і якщо є надмірна вологість, багато частинок можуть агломерувати та спричинити зневоднення шару [2].

Розроблено декілька методів для кількісної оцінки режимів псевдозрідження через необхідність оцінки якості циркуляції частинок. Для ідентифікації режимів псевдозрідження запропоновано декілька методів: візуальне спостереження, дослідження осьового профілю концентрації твердих речовин та інтерпретація коливань тиску шару [3]. Візуальне спостереження дуже важливе, хоча воно також дуже суб'єктивне. Потужні камери, які були розроблені для спостереження за поведінкою шару за долі секунд, сприяли дослідженням у цій галузі. Для оцінки якості режиму псевдозрідження та отримання інформації про розмір і вологість твердих частинок також використовували акустичні давачі, встановлені всередині шару [4–5].

Режими псевдозрідження можна описати кількісно на основі аналізу часових рядів коливань тиску. Такий опис залежить від адекватного методу вимірювання та методу аналізу, що застосовується до вимірюваних сигналів. Сигнали тиску можуть бути оброблені в часовій області (дисперсія або стандартне відхилення), в частотній області (спектральний аналіз) або в просторі станів з використанням нелінійних рядів (теорія хаосу) [3]. Сигнали тиску, виміряні в шарі, несуть інформацію про різні явища, які відбуваються під час псевдозрідження, такі як турбулентність, рух і виверження бульбашок [6].

Важливо зазначити, що існують інші методи моніторингу режимів псевдозрідження, які застосовуються до процесів покриття та гранулювання, а саме: падіння тиску в шарі, споживання електроенергії в системах гранулювання з перемішуванням та вимірювання сигналів флуктуації напруги частинок за допомогою напруги.

Управління за перепадом тиску є найпростішим, найдешевшим і найбільш поширеним методом на виробництвах. Тим не менш, було помічено, що ця змінна не створює раннього попередження щодо явища зневоднення, що ускладнює її застосування до автоматично керованої системи [7]. Незважаючи на це обмеження, розроблено багато систем управління для запобігання агломерації під час покриття частинок у шарі, що використовують падіння тиску шару як контрольовану змінну та потік рідини для покриття як змінну, що регулюється [8–9].

Метод, заснований на споживанні електроенергії системою перемішування, використовувався для управління процесом гранулювання, особливо для визначення кінцевої точки процесу [10–11]. Дослідження показують, що середнє споживання електроенергії в часовій області не здатне виявити рідко-динамічні нестабільності в початкові моменти, які виникають, але обробка сигналу споживання

потужності за допомогою стандартного відхилення або дисперсії, спектрального аналізу може призводити до більш надійної інформації про гідродинамічний режим.

Також досліджували процес гранулювання за допомогою давачів напруги для вимірювання коливань напруги в камері обладнання з псевдозрідженим шаром, яка складалася з двох концентричних циліндрів, де частинки розміщувалися в кільцевій області, а внутрішній циліндр обертався [12]. Спектральний аналіз і теорія хаосу (нелінійний аналіз – реконструкція атракторів), які аналізують статистику, були використані для опису, з точки зору якості та кількості, того, як формуються та ростуть гранули.

Проводились дослідження процесу покриття мікрокристалічної целюлози в псевдозрідженому шарі з метою моніторингу режимних переходів, які відбуваються під час процесу внаслідок розпилення водної полімерної суспензії [13]. Застосовано спектральний аналіз сигналів коливань тиску. Було помічено, що спектри потужності змінюються під час розпилення суспензії. Спектральні амплітуди зменшуються в міру нанесення покриття. Процес нанесення покриття розпочинався з ситуацій рідинно-динамічної стабільності, коли процес працював у режимі багаторазового барботування. Спектральні амплітуди були високими, а частота демонструвала домінуючу частоту. Коли почали виникати гідродинамічні нестабільності, було видно зміщення спектрів потужності, а візуальне спостереження за поведінкою шару показало ситуації високої нестабільності з утворенням каналів і агломерацією.

Розроблено методологію, засновану на вимірюванні сигналів коливань тиску та спектральному аналізі сигналів за допомогою перетворення Фур'є, спрямовану на ідентифікацію області зневоднення шару мікрокристалічної целюлози та піску [14]. Завдяки нелінійному пристосуванню спектрів тиску до експоненціальної функції, схожої на регулярну функцію розподілу Гауса, зневоднення можна проаналізувати через значні зміни в отриманих профілях середньої частоти Гауса. Гаусова середня частота та коефіцієнт псевдозрідження відображають характеристики кипіння в шарі, тобто вони відображають різні діапазони значень для режимів псевдозрідження, початкових моментів зневоднення та діапазону нерухомого шару. Дослідження, проведені з використанням мікрокристалічної целюлози, демонструють, що середня частота та коефіцієнт псевдозрідження не змінюють своїх діапазонів зміни за стабільних умов псевдозрідження в широкому діапазоні робочих умов процесу нанесення покриття (маса твердої речовини, швидкість потоку суспензії і швидкість потоку повітря) [15]. Зневоднення ідентифікується різкими змінами діапазонів, визначених як стабільні. Надзвичайно важливо, щоб змінні, якими керують у процесі, могли представляти такий процес у широкому діапазоні робочих умов для розробки системи управління. Методологія спектрального аналізу Гауса для виявлення змін у режимі псевдозрідження та реалізація стратегії управління, заснованої на вдосконаленому алгоритмі ПІД-регулятора для моніторингу та контролю в реальному часі процесу покриття та зволоження частинок, забезпечують покращені гідродинамічні умови порівняно з процесом без контролю.

Спектральний аналіз і теорія хаосу є точнішими та швидшими у генеруванні інформації про нестабільні ситуації в режимі псевдозрідження порівняно з моніторингом перепаду тиску в шарі та споживанням електроенергії у змішаному псевдозрідженому шарі. Спостереження спектрів потужності в частотній області та атракторів у багатовимірному просторі все ще є дуже суб'єктивним завданням. Оператор процесу нанесення покриття або гранулювання в псевдозрідженому шарі повинен бути дуже добре підготовлений визначити початкові моменти, коли виникає нестабільність, коли спектри та атрактори змінюються випадковим чином. У спектральному аналізі ідентифікація домінуючих частот також має бути дуже обережним процесом через випадковість динаміки псевдозрідженого шару, де не завжди можливо визначити домінуючі частоти. Таким чином, було б важко побудувати замкнений цикл керування, щоб налаштувати процес, лише аналізуючи спектри потужності через ідентифікацію домінуючих частот [16]. Статистична обробка спектрального розподілу тиску за допомогою спектрального аналізу Гауса [16] і обробки атракторів за допомогою статистики [17] виявилася дуже надійними та точними методами для визначення нестабільної поведінки в режимі псевдозрідження.

#### **Системи управління гранулометричним складом у грануляторі з псевдозрідженим шаром**

Прогнозування розподілу частинок за розміром для визначення кінцевої точки процесу у випадку гранулювання, а також виявлення утворення небажаних агломераційних грудок у випадку покриття частинок є дуже складними завданнями. Визначення точки зупинки процесів гранулювання або покриття все ще є великою проблемою. Для оцінки розміру частинок використано кілька методів, найвідомішими серед яких є просіювання, обробка зображень і лазерна дифракція. Ці методи є дуже точними, але не дають реальної інформації про розмір частинок всередині обладнання для покриття або грануляції в режимі реального часу.

#### *Ближня інфрачервона спектроскопія*

Ближня інфрачервона спектроскопія використовується для моніторингу розміру частинок і вмісту вологи, оскільки поглинання в області спектру ближньої інфрачервоної спектроскопії чутливе до коливань вмісту вологи та розміру частинок. Знайти хорошу кореляцію між даними поглинання та цими

критичними змінними є одним з найбільш складних завдань при впровадженні техніки ближньої інфрачервоної спектроскопії у виробничий процес, оскільки калібрування слід змінювати відповідно до природи продукту або робочих умов у гранулюванні. Дослідження, які відстежували розмір частинок у режимі реального часу за допомогою вимірювання поглинання ближньої інфрачервоної спектроскопії, показали значні труднощі з налаштуванням моделей для забезпечення росту частинок у процесі гранулювання, оскільки на вимірювання впливає вміст вологи, а метод калібрування повинен бути ретельно підібраний для перевірки прогнозу для всіх розмірів частинок [18].

Для прогнозування впливу вмісту вологи на розмір частинок у процесі гранулювання в псевдозрізному шарі використовують також нейронну мережу [19]. Вимірювання вмісту вологи контролювали за допомогою інфрачервоної спектроскопії, тоді як розмір частинок визначали просіюванням. Отримані результати показали, що методологія здатна адекватно виміряти масовий середній діаметр для кількох рівнів вологовмісту.

#### *Вимірювання відбиття сфокусованого променя*

Фізично метод вимірювання відбиття сфокусованого променя полягає у введенні зонда, який має лазерні промені та електронну схему всередині псевдозрізного шару. Сильно сфокусовані лазерні промені проходять через обертові лінзи, які спрямовують їх на сапфірове вікно, проектуючи лазер на середовище з частинками. Коли лазерний промінь потрапляє на частинки, світло відбивається назад. Зворотне розсіювання обчислюється електронною схемою, яка розраховує час, який потрібен лазерному променю для переходу від однієї сторони частинки до іншої, що в поєднанні зі швидкістю лазера дозволяє обчислити розмір частинки [20].

Процес гранулювання у псевдозрізному шарі досліджували з використанням вимірювання відбиття сфокусованого променя для моніторингу в мережі та проводили порівняння з вимірюваннями в автономному режимі за допомогою лазерної дифракції та просіювання [21]. Було проаналізовано вплив швидкості розпилення на ефективність моніторингу.

Проводились дослідження, що використовували одночасно три он-лайн методи вимірювання, щоб спробувати контролювати зростання частинок у грануляторі з псевдозрізним шаром: акустичну емісію, вимірювання відбиття сфокусованого променя та ближню інфрачервону спектроскопію [22]. Усі три методи були чутливими до механізму росту частинок для грануляції (утворення зародків, індукції, консолідації та зростання, руйнування та стирання). Порівняння з вимірюваннями лазерної дифракції в автономному режимі не показало хорошої збігу в прогнозуванні розміру частинок. Найвні проблеми інкрустації давачів вимірювання відбиття сфокусованого променя та ближньої інфрачервоної спектроскопії, що є недоліком цих методів.

#### *Велосиметрія*

Велосиметрія – це техніка прямого моніторингу розміру частинок, яка привернула велику увагу дослідників, особливо у фармацевтичному секторі, у застосуванні до гранулювання. За допомогою методу велосиметрії можна збирати інформацію про розмір і швидкість частинок, коли вони перетинають лазерний промінь, а відтінок частинок реєструється набором оптичних волокон, які генерують сигнал.

Велосиметрію використовують для оцінки можливостей застосування процесу гранулювання в псевдозрізному шарі [23]. Вплив умов експлуатації (температура повітря для сушіння) на рецептуру гранул вивчали за допомогою поточного моніторингу розміру гранул. Проведено вимірювання методом велосиметрії за допомогою лазерної дифракції.

Техніку велосиметрії застосували для моніторингу росту частинок в псевдозрізному шарі, використовуючи багатофакторний аналіз для перевірки продуктивності, варіацій процесу та вивчення можливості впровадження системи управління [24]. Розмір частинок збільшувався під час періоду розпилення та зменшувався під час сушіння, ймовірно, через руйнування частинок. Швидкість циркуляції частинок показала поведінку режиму псевдозрізнення. На початку розпилення швидкість циркуляції частинок збільшилася, в той же час спостерігався стабільний режим псевдозрізнення. Через 6 хвилин розпилення цей параметр почав зменшуватися, що вказує на втрату якості псевдозрізнення.

Методи отримання вимірювань розміру частинок за допомогою обробки зображень мають значні переваги, особливо коли потрібно спостерігати зростання твердої речовини всередині псевдозрізного шару. Однак складність реалізації полягає в області засобів обробки зображень і необхідності калібрування для кожного продукту. Інфрачервоні або ближні інфрачервоні промені застосовувалося для моніторингу покриття частинок та гранулювання. Діапазон розмірів також обмежений через коротке проникнення інфрачервоної хвилі, що більше підходить для дрібних частинок. Вимірювання відбиття сфокусованого променя і вимірювання швидкості з просторовим фільтром широко застосовуються в дослідженнях і промисловості. Ці методи можуть працювати з висококонцентрованими системами частинок, високими температурами, системами з високою вологістю.

#### Системи управління вологовмістом гранул у грануляторі з псевдозрідженим шаром

Відомо, що вміст вологи є критичною контрольною змінною в процесах, що включають гранулювання у псевдозрідженому шарі. Попит на високоякісну продукцію призвів до поступової еволюції методів моніторингу вологості на цих установках. Вологовміст в частинках є однією з найбільш важливих змінних у стабільності режиму псевдозрідження і, поряд з діаметром, є параметром контролю якості, що стосується збереження таких властивостей, як: щільність, твердість, крихкість, час розпаду, міцність стиснення і захисний бар'єр від мікроорганізмів. Були застосовані різні методи моніторингу в режимі реального часу та контролю процесу псевдозрідження за вологовмістом в гранулах. Основними методами є інфрачервона або ближня інфрачервона спектроскопія, заснована на поглинанні або відображенні хвиль в інфрачервоному спектрі, методи, які вловлюють акустичні сигнали, наприклад, за допомогою акустичної емісії.

#### Акустична емісія

Акустику можна визначити як генерацію, передачу або прийом енергії у форматі коливальних хвиль [25]. Акустична емісія спричинена фізичними або хімічними подіями, коли вони включають рух твердих частинок (як у псевдозрідженому шарі). Акустична емісія може виникати через тертя або зіткнення між частинками та іншими об'єктами або стінкою апарату, і її можна зафіксувати, щоб зробити можливим отримання інформації про те, що відбувається в процесі [26]. Вимірювання акустичних випромінювань використовувалися як інструмент для моніторингу процесів гранулювання в псевдозрідженому шарі [4,5,27-28]. Моніторинг змін вологості за допомогою цієї методики все ще обмежений. Метод акустичної емісії застосували до моніторингу процесу псевдозрідження та досліджували вплив вологовмісту в частинці на середню амплітуду акустичної емісії [27].

#### Техніка мікрохвильового резонансу

Техніка, яка використовує мікрохвильовий резонанс для вимірювання вмісту вологи, заснована на взаємодії між молекулами води зі змінами електромагнітного поля, створеного індукцією електромагнітних хвиль із частотою від 300 МГц до 300 ГГц. Цей метод використовувався для моніторингу вологовмісту під час процесу гранулювання в псевдозрідженому шарі [28]. Вологовміст в гранулах вимірювали в режимі онлайн за допомогою мікрохвильового резонансного давача та порівнювали його з результатом, отриманим в автономному режимі за допомогою втрати вологи при висушуванні з використанням інфрачервоного випромінювання. Одержана подібність між результатами, головним чином, коли вологовміст був менше 10%.

#### Електроємнісна томографія

Вимірювання вологовмісту гранули за допомогою електроємнісної томографії базується на кореляції між вологовмістом та значенням діелектричної проникності, отриманим шляхом вимірювання ємності між парою електродів, загорнутих у матеріал, що підлягає вимірюванню.

Електроємнісна томографія використовує різницю між діелектричною проникністю газової та твердої фаз у псевдозрідженому шарі, щоб визначити розподіл цих фаз. Електроди розміщують таким чином, щоб вони розташовувалися зовні шару. Вимірювання ємності виконуються та перебудовуються за допомогою томограм, що надають розподіл діелектричної проникності [29].

Електроємнісну томографію застосували для виявлення змін гідродинаміки, які відбувалися протягом процесу сушіння фармацевтичних гранул у псевдозрідженому шарі, продемонструвавши, що варіації, пов'язані з втратою вологи, є більшими, коли вони знаходяться поблизу стінки шару, ніж у центрі. Також запропоновано використовувати електроємнісну томографію як техніку он-лайн моніторингу вологовмісту в гранулах у псевдозрідженому шарі [30].

#### Системи управління температурою у грануляторі з псевдозрідженим шаром

На процес гранулоутворення у грануляторі великий вплив мають такі параметри як: температура гранул, температура теплоносія та вологовміст гранул. Пропонується контролювати дані параметри, аби система керування змогла забезпечити ефективне використання ресурсів та високу якість готової продукції. Вологовміст гранул, температура теплоносія та температура гранул тісно пов'язані між собою, тому що якщо температура теплоносія буде перевищувати температурний діапазон, відбудеться надлишкове нагрівання гранул та критичне зниження вологовмісту в гранулі. В результаті чого буде використовуватися надлишкова кількість енергії на нагрівання повітря, що є не ефективним з точки зору енергоефективності, а зменшення кількості вологи у гранулах може призвести до їх крихкості, що негативно впливає на процес транспортування та використання мінеральних добрив. Для побудови системи управління процесом гранулювання у псевдозрідженому шарі пропонується використовувати температуру теплоносія та температуру гранул [31-55].

**Висновки.** Розглянуто найбільш поширені методи моніторингу критичних параметрів, які безпосередньо впливають на стабільність процесу гранулювання у псевдозрідженому шарі. На основі запропо-

нованих підходів реалізовані системи управління на виробництві гранульованої продукції у апаратах із псевдозріженим шаром. Здійснено огляд систем управління грануляторами із псевдозріженим шаром, що управляють режимами псевдозрідження, вологовмістом гранул, гранулометричним складом готової продукції та температурою, та є найбільш поширеними для визначення поведінки псевдозрідження під час нанесення покриття та гранулювання та виявлення нестабільності. Побудова сучасної системи управління процесом гранулювання в апараті з псевдозріженим шаром потребує розробки математичної моделі, яка б адекватно описувала складний технологічний процес. Перспективним завданням є побудова інформаційної технології управління процесом гранулювання у псевдозріженому шарі із забезпеченням стабільної роботи обладнання, одержання готової продукції заданої якості та збільшення енергоефективності технологічного процесу.

#### Список використаних джерел:

1. Lipsanen T, Närvänen T, Räikkönen H, Antikainen O, Yliruusi J. Particle size, moisture, and fluidization variations described by indirect in-line physical measurements of fluid bed granulation. *AAPS PharmSciTech*. 2008. №9. P. 1070- 1077.
2. Maronga S. On the optimization of the fluidized bed particulate coating process. Ph.D. Thesis – Department of Chemical Engineering and Technology – Royal Institute of Technology. 1998. 78 p.
3. Johnsson F, Zijerveld R.C., Schouten J.C., van der Beek C.M., Leckner B. Characterization of fluidization regimes by time-series analysis of pressure fluctuations. *International Journal of Multiphase Flow*. 2000. №26. P. 663-715.
4. Halstensen M, de Bakker P, Esbensen K.H. Acoustic chemometric monitoring an industrial granulation production process – a PAT feasibility study. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2006. №84. P. 88-97.
5. Naelapää K, Veski P, Pedersen J.G., Anov D, Jørgensen P, Kristensen H.G., Bertelsen P. Acoustic monitoring of a fluidized bed coating process. *International Journal of Pharmaceutics*. 2007. №332. P. 90-97.
6. Shouten J.C., van den Bleek C.M., Monitoring the quality of fluidization using the short-term predictability of pressure fluctuations. *AIChE Journal*. 1998. №44. P. 48-60.
7. Silva C.A.M., Parise M.R., Silva F.V., Taranto O.P. Control of fluidized bed coating particles using Gaussian spectral pressure distribution. *Powder Technology*. 2011. №212. P. 445-458.
8. el Mafadi S., Hayert M., Poncelet D. Fluidization control in Wuster coating process. *Hemijska Industrija*. 2003. № 57. P. 641-644.
9. Terashita K, Watano S, Miyanami K. Determination of end-point by frequency analysis of power consumption in agitation granulation. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 1990. №38. P. 3120-3123.
10. Watano S, Terashita K, Miyanami K. Analysis of granulation process and determination of operational end point in a tumbling fluidized bed granulation. *Bulletin of University of Osaka prefecture. Series A*. 1993. №4. P. 47-56.
11. Talu I, Tardos G.I., van Ommen J.R. Use of stress fluctuations to monitor wet granulation of powders. *Powder Technology*. 2001. №117. P. 149-162.
12. Moris V.A.S., Visnadi C.B., Cunha R.L.G., Rocha S.C.S., Taranto O.P. Monitoring of fluidized bed coating process of microcrystalline cellulose. *XXXII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados*. Maringá. Paraná. Brazil. 2006.
13. Parise M.R., Taranto O.P., Kurka P.R.G., Benetti L.B. Detection of the minimum gas velocity region using Gaussian spectral pressure distribution in a gas-solid fluidized bed. *Powder Technology*. 2008. №182. P. 453-458.
14. Silva C.A.M. Application of the Gaussian spectral analysis methodology to monitor and control the defluidization in the particles coating process. *School of Chemical Engineering, University State of Campinas*. Campinas. 2009. 145 p.
15. Parise M.R., Silva C.A.M., Ramazini M.J., Taranto O.P. Identification of defluidization in fluidized bed coating using the Gaussian spectral pressure distribution. *Powder Technology*. 2011. №206. P. 149-153.
16. de Martín L., van den Dries K., van Ommen J.R. Comparison of three different methodologies of pressure signal processing to monitor fluidized-bed dryers/ granulators. *Chemical Engineering Journal*. 2011. №172. P. 487-499.
17. Nieuwmeyer F.J.S., Damen M., Gerich A., Rusmini F., van der K., Maarschalk V., Vromans H. Granule characterization during fluid bed drying by development of a near infrared method to determine water content and median granule size. *Pharmaceutical Research*. 2007. №24. P. 1854-1861.
18. Watano S, Takashima H, Miyanami K. Scale-up of agitation fluidized bed granulation by neural network. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 1997. №45. P. 1193-1197.
19. Scheibli D. The use of FBRM for on-line particle size analysis in a fluid bed granulator. *Master's Theses*. 2007. № 3576.
20. Hu X., Cunningham J.C., Winstead D. Study growth kinetics in fluidized bed granulation with at-line FBRM. *International Journal of Pharmaceutics*. 2008. № 347. P. 54-61.
21. Tok A., Goh X.P., Ng W., Tan R. Monitoring granulation rate processes using three PAT tools in a pilot-scale fluidized bed. *AAPS PharmSciTech*. 2008. №9. P. 1083-1091.
22. Burggraave A., van den Kerkhof T., Hellings M., Remon J.P., Vervaet C., de Beer T. Evaluation of in-line spatial filter velocimetry as PAT monitoring tool for particle growth during fluid bed granulation. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 2010. №76. P. 138-146.
23. Huang J., Goolcharran C., Utz J., Hernandez-abad P., Ghosh K., Nagi A. A PAT Approach to enhance process understanding of fluid bed granulation using inline particle size characterization and multivariate analysis. *Journal Pharmaceutical Innovation*. 2010. №5. P. 58-68.
24. Kinsler L.E., Frey A.R., Coppens A.B., Sanders J.V. *Fundamentals of Acoustics* // forth ed., John Wiley & Sons. New York. 2000.

25. Boyd J.W.R., Varley J. The uses of passive measurement of acoustic emissions from chemical engineering processes. *Chemical Engineering Science*. 2001. № 56. P. 1749-1767.
26. Tsujimoto H., Yokoyama T., Huang C.C., Sekiguchi I. Monitoring particle fluidization in a fluidized bed granulator with an acoustic emission sensor. *Powder Technology*. 2000. № 113. P. 88-96.
27. Book G., Albion K., Briens L., Briens C., Berruti F. On-line detection of bed fluidity in gas-solid fluidized beds with liquid injection by passive acoustic and vibrometric methods. *Powder Technology*. 2011. № 205. P. 126-136.
28. Buschmüller C., Wiedey W., Döscher C., Dressler J., Breitzkreutz J. In-line monitoring of granule moisture in fluidized-bed dryers using microwave resonance technology. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 2008. №69. P. 380-387.
29. Dyakowski T., Jeanmeure L.F.C., Jaworski A.J. Applications of electrical capacitance tomography for gas-solids and liquid-solids flows - a review. *Powder Technology*. 2000. № 112. P. 174-192.
30. Wang H.G., Senior P.R., Mann R., Yang W.Q. Online measurement and control of solids moisture in fluidized bed dryers. *Chemical Engineering Science*. 2009. № 64. P. 2893-2902.
31. Корнієнко Б.Я. Інформаційні технології оптимального управління виробництвом мінеральних добрив. Київ. 2014. 288 с.
32. Korniyenko B.Y. The two phase model of formation of mineral fertilizers in the fluidized-bed granulator. *The Advanced Science Journal*. 2013. № 4. P. 41-44.
33. Корнієнко Б.Я. Двохфазна модель процесу зневоднення та гранулювання у псевдозрідженому шарі. Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». 2012. № 2(10). С. 31-35.
34. Корнієнко Б.Я. Математичне моделювання динаміки процесів переносу при зневодненні та гранулюванні у псевдозрідженому шарі. Науковий журнал «Вісник Національного авіаційного університету». 2012. № 4(53). С. 84-90.
35. Korniyenko B.Y. Modeling of transport processes in disperse systems. *The Advanced Science Journal*. 2013. № 1. P. 7-10.
36. Корнієнко Б.Я. Мінеральні добрива. Двохфазна модель утворення в грануляторі із псевдозрідженим шаром. Хімічна промисловість України. 2013. № 1. С. 39-43.
37. Корнієнко Б.Я., Ладієва Л.Р., Снігур О.В. Гранулювання у псевдозрідженому шарі. Дослідження детермінованого хаосу процесу. Хімічна промисловість України. 2013. № 2. С. 20-23.
38. Korniyenko B.Y. Research modes of a fluidized bed granulator. *The Advanced Science Journal*. 2013. № 5. P. 12-15.
39. Корнієнко Б.Я. Ідентифікація процесу гранулювання мінеральних добрив у апараті з псевдозрідженим шаром. Наукоємні технології. 2013. № 3(19). С. 280-284.
40. Korniyenko B.Y., Osipa L. Identification of the granulation process in the fluidized bed. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. № 13(14). P. 4365-4370.
41. Korniyenko B., Ladieva L. Mathematical Modeling Dynamics of the Process Dehydration and Granulation in the Fluidized Bed. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 1247 AISC. 2021. P. 18-30.
42. Korniyenko B., Ladieva L., Galata L. Control system for the production of mineral fertilizers in a granulator with a fluidized bed. 2020 2nd IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory. 2020. №9349344. P. 307-310.
43. Korniyenko B.Y., Borzenkova S.V., Ladieva L.R. Research of three-phase mathematical model of dehydration and granulation process in the fluidized bed. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019. № 14(12). P. 2329-2332.
44. Korniyenko B.Y., Ladieva L.R. Mathematical modeling dynamics of the process dehydration and granulation in the fluidized bed. Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту. Херсон. 2019. P. 86-88.
45. Корнієнко Б.Я. Мінеральні добрива. Оптимізація процесу зневоднення та гранулювання у псевдозрідженому шарі. Хімічна промисловість України. 2013. № 4. С. 69-73.
46. Korniyenko B.Y. Static and dynamic characteristics of transport processes in disperse systems. *Наукоємні технології*. 2013. № 2(18). P. 166-170.
47. Корнієнко Б.Я. Мінеральні добрива. Статична оптимізація процесу гранулювання у псевдозрідженому шарі. Хімічна промисловість України. 2013. № 5. С. 36-40.
48. Корнієнко Б.Я. Ідентифікація процесу гранулювання мінеральних добрив у апараті з псевдозрідженим шаром. Наукоємні технології. 2013. № 3(19). С. 280-284.
49. Корнієнко Б.Я. Задачі оптимізації зневоднення та гранулювання мінеральних добрив у псевдозрідженому шарі. Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». 2014. № 1(12). С. 28-31.
50. Korniyenko B.Y., Liubeka A.M., Sachok R.V., Korniyenko B.Y. Modeling of heat exchangement in fluidized bed with mechanical liquid distribution. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019. № 14(12). P. 2203-2210.
51. Korniyenko B., Galata L., Ladieva L. Security Estimation of the Simulation Polygon for the Protection of Critical Information Resources. *CEUR Workshop Proceedings, Selected Papers of the XVIII International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Security" (ITS 2018)*. Kyiv, Ukraine. 2018. № 2318. P. 176-187.
52. Корнієнко Б.Я. Дослідження моделі взаємодії відкритих систем з погляду інформаційної безпеки. Наукоємні технології. 2012. № 3(15). С. 83-89.
53. Korniyenko B., Yudin O., Novizkij E. Open systems interconnection model investigation from the viewpoint of information security. *The Advanced Science Journal*. 2013. № 8. P. 53-56.
54. Zhulynskyi A.A., Ladieva L.R., Korniyenko B.Y. Parametric identification of the process of contact membrane distillation. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences Volume 14*. 2019. № 17. P. 3108-3112.
55. Bieliatynskyi A., Osipa L., Korniyenko B. Water-saving processes control of an airport. Paper presented at the MATEC Web of Conferences. 2018. № 239.

## References:

1. Lipsanen, T., T. Närvänen, H. Räikkönen, O. Antikainen, J. Yliruusi (2008). Particle size, moisture, and fluidization variations described by indirect in-line physical measurements of fluid bed granulation. *AAPS PharmSciTech*, 9, 1070-1077.
2. Maronga, S. (1998). On the optimization of the fluidized bed particulate coating process. *Department of Chemical Engineering and Technology – Royal Institute of Technology*, 78.
3. Johnsson, F., R.C. Zijerveld, J.C. Schouten, C.M. van der Beek, B. Leckner (2000). Characterization of fluidization regimes by time-series analysis of pressure fluctuations. *International Journal of Multiphase Flow*, 26, 663-715.
4. Halstensen, M., P. de Bakker, K.H. Esbensen (2006). Acoustic chemometric monitoring an industrial granulation production process. *a PAT feasibility study, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 84, 88-97.
5. Naelapää, M., P. Veski, J.G. Pedersen, D. Anov, P. Jørgensen, H.G. Kristensen, P. Bertelsen (2007). Acoustic monitoring of a fluidized bed coating process. *International Journal of Pharmaceutics*, 332, 90-97.
6. Shouten, J.C., C.M. van den Bleek (1998). Monitoring the quality of fluidization using the short-term predictability of pressure fluctuations. *AIChE Journal*, 44, 48-60.
7. Silva, C.A.M., M.R. Parise, F.V. Silva, O.P. Taranto (2011). Control of fluidized bed coating particles using Gaussian spectral pressure distribution. *Powder Technology*, 212, 445-458.
8. el Mafadi, S., M. Hayert, D. Poncelet (2003). Fluidization control in Wuster coating process. *Hemijiska Industrija*, 57, 641-644.
9. Terashita, K., S. Watano, K. Miyanami (1990). Determination of end-point by frequency analysis of power consumption in agitation granulation. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 38, 3120-3123.
10. Watano, S., K. Terashita, K. Miyanami (1993). Analysis of granulation process and determination of operational end point in a tumbling fluidized bed granulation. *Bulletin of University of Osaka prefecture. Series A*, 41, 47-56.
11. Talu, I., G.I. Tardos, J.R. van Ommen (2001). Use of stress fluctuations to monitor wet granulation of powders. *Powder Technology*, 117, 149-162.
12. Moris, V.A.S., C.B. Visnadi, R.L.G. Cunha, S.C.S. Rocha, O.P. Taranto (2006). Monitoring of fluidized bed coating process of microcrystalline cellulose. *XXXII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados*, Maringá.
13. Parise, M.R., O.P. Taranto, P.R.G. Kurka, L.B. Benetti (2008). Detection of the minimum gas velocity region using Gaussian spectral pressure distribution in a gas-solid fluidized bed. *Powder Technology*, 182, 453-458.
14. Silva, C.A.M. (2009). Application of the Gaussian spectral analysis methodology to monitor and control the defluidization in the particles coating process. *School of Chemical Engineering, University State of Campinas*, 145.
15. Parise, M.R., C.A.M. Silva, M.J. Ramazini, O.P. Taranto (2011). Identification of defluidization in fluidized bed coating using the Gaussian spectral pressure distribution. *Powder Technology*, 206, 149-153.
16. de Martín, L., K. van den Dries, J.R. van Ommen (2011). Comparison of three different methodologies of pressure signal processing to monitor fluidized-bed dryers/ granulators. *Chemical Engineering Journal*, 172, 487-499.
17. Nieuwmeyer, F.J.S., M. Damen, A. Gerich, F. Rusmini, K. van der, V. Maarschalk, H. Vromans (2007). Granule characterization during fluid bed drying by development of a near infrared method to determine water content and median granule size. *Pharmaceutical Research*, 24, 1854-1861.
18. Watano, S., H. Takashima, K. Miyanami (1997). Scale-up of agitation fluidized bed granulation by neural network. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 45, 1193-1197.
19. Scheibli, D. (2007). The use of FBRM for on-line particle size analysis in a fluid bed granulator. 3576.
20. Hu, X., J.C. Cunningham, D. Winstead (2008). Study growth kinetics in fluidized bed granulation with at-line FBRM. *International Journal of Pharmaceutics*, 347, 54-61.
21. Tok, A., X.P. Goh, W. Ng, R. Tan (2008). Monitoring granulation rate processes using three PAT tools in a pilot-scale fluidized bed. *AAPS PharmSciTech*, 9, 1083-1091.
22. Burggraave, A., T. van den Kerkhof, M. Hellings, J.P. Remon, C. Vervaet, T. de Beer (2010). Evaluation of in-line spatial filter velocimetry as PAT monitoring tool for particle growth during fluid bed granulation. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 76, 138-146.
23. Huang, J., C. Goolcharran, J. Utz, P. Hernandez-abad, K. Ghosh, A. Nagi (2010). A PAT Approach to enhance process understanding of fluid bed granulation using inline particle size characterization and multivariate analysis. *Journal Pharmaceutical Innovation*, 5, 58-68.
24. Kinsler, L.E., A.R. Frey, A.B. Coppens, J.V. Sanders (2000). Fundamentals of Acoustics. *John Wiley & Sons*.
25. Boyd, J.W.R., J. Varley (2001). The uses of passive measurement of acoustic emissions from chemical engineering processes. *Chemical Engineering Science*, 56, 1749-1767.
26. Tsujimoto, H., T. Yokoyama, C.C. Huang, I. Sekiguchi (2000). Monitoring particle fluidization in a fluidized bed granulator with an acoustic emission sensor. *Powder Technology*, 113, 88-96.
27. Book, G., K. Albion, L. Briens, C. Briens, F. Berruti (2011). On-line detection of bed fluidity in gas-solid fluidized beds with liquid injection by passive acoustic and vibrometric methods. *Powder Technology*, 205, 126-136.
28. Buschmüller, C., W. Wiedey, C. Döscher, J. Dressler, J. Breitreutz (2008). In-line monitoring of granule moisture in fluidized-bed dryers using microwave resonance technology. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 69, 380-387.
29. Dyakowski, T., L.F.C. Jeanmeure, A.J. Jaworski (2000). Applications of electrical capacitance tomography for gas-solids and liquid-solids flows - a review. *Powder Technology*, 112, 174-192.
30. Wang, H.G., P.R. Senior, R. Mann, W.Q. Yang (2009). Online measurement and control of solids moisture in fluidized bed dryers. *Chemical Engineering Science*, 64, 2893-2902.
31. Korniyenko B.Y. (2014). Informatsiini tekhnolohii optimalnoho upravlinnia vyrobnystvom mineralnykh dobyv [Information technologies for optimal management of mineral fertilizer production], 288.



32. Korniyenko B.Y. (2013). The two phase model of formation of mineral fertilizers in the fluidized-bed granulator. *The Advanced Science Journal*, 4, 41-44.
33. Korniyenko B.Y. (2012). Dvokhfazna model protsesu znevodnennia ta hranuliuvannia u psevdozridzhenomu shari [Two-phase model of the process of dehydration and granulation in a fluidized bed]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut», Seria «Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozberezhennia», 2(10)*, 31-35.
34. Korniyenko B.Y. (2012). Matematychni modeliuvannia dynamiky protsesiv perenosu pry znevodnenni ta hranuliuvanni u psevdozridzhenomu shari [Mathematical modeling of the dynamics of transfer processes during dehydration and granulation in a fluidized bed]. *Naukovyi zhurnal «Visnyk Natsionalnoho aviatsiinoho universytetu», 4(53)*, 84-90.
35. Korniyenko B.Y. (2013). Modeling of transport processes in disperse systems. *The Advanced Science Journal*, 1, 7-10.
36. Korniyenko B.Y. (2013). Mineralni dobryva. Dvokhfazna model utvorennia v hranuliatori iz psevdozridzhenym sharom [Mineral fertilizers. Two-phase model of formation in a fluidized bed granulator]. *Khimichna promyslovist Ukrainy*, 1, 39-43.
37. Korniyenko B.Y., Ladieva L.R., Snihur O.V. (2013). Hranuliuvannia u psevdozridzhenomu shari. Doslidzhennia determinovanoho khaosu protsesu [Granulation in a fluidized bed. Study of deterministic process chaos]. *Khimichna promyslovist Ukrainy*, 2, 20-23.
38. Korniyenko B.Y. (2013). Research modes of a fluidized bed granulator. *The Advanced Science Journal*, 5, 12-15.
39. Korniyenko B.Y. (2013). Identyfikatsiia protsesu hranuliuvannia mineralnykh dobryv u aparati z psevdozridzhenym sharom [Identification of the granulation process of mineral fertilizers in a fluidized bed apparatus]. *Naukoiemni tekhnologii*, 3(19), 280-284.
40. Korniyenko B.Y., Osipa L. (2018). Identification of the granulation process in the fluidized bed. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(14), 4365-4370.
41. Korniyenko B., Ladieva L. (2021). Mathematical Modeling Dynamics of the Process Dehydration and Granulation in the Fluidized Bed. *Advances in Intelligent Systems and Computing. 1247 AISC*, 18-30.
42. Korniyenko B., Ladieva L., Galata L. (2020). Control system for the production of mineral fertilizers in a granulator with a fluidized bed. *2020 2nd IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory*, 9349344, 307-310.
43. Korniyenko B.Y., Borzenkova S.V., Ladieva L.R. (2019). Research of three-phase mathematical model of dehydration and granulation process in the fluidized bed. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14(12), 2329-2332.
44. Korniyenko B.Y., Ladieva L.R. (2019). Mathematical modeling dynamics of the process dehydration and granulation in the fluidized bed. *Intelektualni systemy pryiniattia rishen i problemy obchyslivalnoho intelektu*, 86-88.
45. Korniyenko B.Y. (2013). Mineralni dobryva. Optymizatsiia protsesu znevodnennia ta hranuliuvannia u psevdozridzhenomu shari [Mineral fertilizers. Optimization of the process of dehydration and granulation in a fluidized bed]. *Khimichna promyslovist Ukrainy*, 4, 69-73.
46. Korniyenko B.Y. (2013). Static and dynamic characteristics of transport processes in disperse systems. *Naukoiemni tekhnologii*, 2(18), 166-170.
47. Korniyenko B.Y. (2013). Mineralni dobryva. Statychna optymizatsiia protsesu hranuliuvannia u psevdozridzhenomu shari [Mineral fertilizers. Static optimization of the granulation process in a fluidized bed]. *Khimichna promyslovist Ukrainy*, 5, 36-40.
48. Korniyenko B.Y. (2013). Identyfikatsiia protsesu hranuliuvannia mineralnykh dobryv u aparati z psevdozridzhenym sharom [Identification of the granulation process of mineral fertilizers in a fluidized bed apparatus]. *Naukoiemni tekhnologii*, 3(19), 280-284.
49. Korniyenko B.Y. (2013). Zadachi optymizatsii znevodnennia ta hranuliuvannia mineralnykh dobryv u psevdozridzhenomu shari [Problems of optimization of dehydration and granulation of mineral fertilizers in a fluidized bed]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut», Seria «Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozberezhennia», 1(12)*, 28-31.
50. Korniyenko Y.M., Liubeka A.M., Sachok R.V., Korniyenko B.Y. (2019). Modeling of heat exchangement in fluidized bed with mechanical liquid distribution. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14(12), 2203-2210.
51. Korniyenko B., Galata L., Ladieva L. (2018). Security Estimation of the Simulation Polygon for the Protection of Critical Information Resources. *CEUR Workshop Proceedings, Selected Papers of the XVIII International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Security" (ITS 2018)*, 2318, 176-187.
52. Korniyenko B.Y. (2012). Doslidzhennia modeli vzaiemodii vidkrytykh system z pohliadu informatsiinoi bezpeky [Study of the interaction model of open systems from the point of view of information security]. *Naukoiemni tekhnologii*, 3(15), 83-89.
53. Korniyenko B., Yudin O., Novizkij E. (2013). Open systems interconnection model investigation from the viewpoint of information security. *The Advanced Science Journal*, 8, 53-56.
54. Zhulynskiy A.A., Ladieva L.R., Korniyenko B.Y. (2019). Parametric identification of the process of contact membrane distillation. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences Volume 14*, 17, 3108-3112.
55. Bieliatynskiy, A., Osipa, L., Kornienko, B. (2018). Water-saving processes control of an airport. *Paper presented at the MATEC Web of Conferences*, 239.