

виробництва та зменшити вагу конструкцій і металоемність вузлів, що є подальшим напрямком наших досліджень.

### Список літератури

1. **Виноградов В. Н.** Абразивное изнашивание / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин, М. Г. Колокольников. – Москва: машиностроение, 1990. – 221 с.
2. **Виноградов В. Н.** Природа контактных деформаций при свободном ударе твердой абразивной частицы по стали / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин, М. Г. Колокольников. // Изв. вузов. Нефть и газ. 1981. -№4. - С. 69-73.
3. **Виноградов В. Н.** Изнашивание при ударе. / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин, А. Ю. Албагачиев. – Москва: машиностроение, 1982. – 192 с.
4. **Тулинов А.Б.** Новые композиционные материалы в ремонтном производстве / А.Б. Тулинов, А.Б. Гончаров // Ремонт, восстановление, модернизация. 2003. -№11.- С.46-47.
5. **Тулинов А.Б.** Новые композиционные материалы для сборочных и ремонтных работ. / А.Б. Тулинов, А.Б. Гончаров // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2003. - № 7. - С. 26-28.
6. **Плотниченко Н. В.** Требования к конструкционным материалам, способным увеличить межремонтный период оборудования при работе в гидроабразивных средах / Н. В. Плотниченко, О. Н. Шагарова. // Сб. научн. тр. студ. и магистров, М.:МГТУ. – 2005. – №5 - С.250–255.
7. **Шагарова О. Н.** Факторы, влияющие на долговечность горно-обогатительного оборудования при абразивном изнашивании / О. Н. Шагарова. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – №22. – С.178–181.
8. **Дворук В. И.** Реолого-кинетическая концепция абразивной износостойкости и ее реализация в управлении работоспособностью механических трибосистем : дис. докт. техн. наук : 05.02.04 / Дворук Владимир Иванович – Киев, 2007. – 471 с.
9. **Кузев Д. П.** Повышение износостойкости дисков валкового грохота для сортировки кокса : дис. канд. техн. наук : 05.02.04 / Кузев Данил Петрович – Москва, 2009. – 140 с.
10. **Ищенко А. А.** Определение интенсивности абразивного износа защитного полимерного покрытия / А. А. Ищенко, Е. В. Дашко. // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія : Технічні науки.. – 2015. – №30. – С. 86–91.
11. **Ищенко А.А.** Технологические основы восстановления промышленного оборудования современными полимерными материалами / А.А. Ищенко. – Мариуполь: ПГТУ, 2007. – 250 с.
12. **Ishenko Anatoliy** The researches of abrasion-resistant characteristics of polymeric material used when repairing of pumping equipment / Anatoliy Ishenko, Helen Dashko // Metallurgical and Mining Industry. No 6. - Dnipropetrovsk "Metljournal", 2015. – P. 327-332 (Scopus).
13. **Носовська О. В.** Підвищення надійності шламових насосів шляхом вдосконалення конструктивних елементів корпусів при їх відновленні: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.05.08 / Національна металургійна академія України – Маріуполь, 2017. – 178с
14. Патент України. 112201 UA, Спосіб захисту поверхні деталей від абразивного зносу / А.О. Ищенко, О.В. Дашко, Ю.С. Щербакова, М.М. Алексєнко / номер заявки U201605345; заявл. 17.05.2016; опубл. 12.12.2016 - Бюл. №23
15. Патент України 83297 UA, Спосіб зміцнення і відновлення зношених поверхонь металевих конструкцій, що працюють в умовах абразивного зносу / С.М. Журавльова, Я.Я. Заньків, Ю.В. Потапенко / номер заявки U201307965, заявл. 25.06.2013, опубл. 27.08.2013 – Бюл. №16
16. Футеровка деталей шламовых насосов [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://rospostavki.com/product/view/futervka-detalej-slamovyh-nasosov>.

Рукопис подано до редакції 01.04.2019

УДК 005.591.6:[66.047:544.023.5-03]

О.В. ЗАМИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., Н.В. БОНДАР, ст.викладач,  
С.О.КРАДОЖОН, аспірант, Криворізький національний університет

## ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРОЦЕСІ СУШКИ ТОНКОДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

**Мета.** Метою даної роботи є аналіз стратегії вибору оптимального апаратно-технологічного оформлення процесу сушіння тонкодисперсного матеріалу, що включає комплексний аналіз матеріалу як об'єкта сушіння; визначення оптимального режиму сушки з урахуванням технологічних вимог до якості висушеного продукту; рекомендований порядок вибору сушильних апаратів для тонкодисперсних матеріалів.

**Методи дослідження.** У роботі використані теоретичні та емпіричні методи дослідження. Проведено аналіз сучасного стану використання сушильних установок, розглянуто найбільш поширені способи сушки та виявлено найбільш ефективні методи інтенсифікації процесів сушки.

**Наукова новизна.** В доповіді проаналізовані основні особливості сушки тонкодисперсних матеріалів. Зроблено висновок про енергоефективність та економічність сушильних апаратів, це і зумовило актуальність даної теми дослідження.

**Практична значимість.** Аналіз сучасних методів сушки тонкодисперсних матеріалів дозволив виявити основні проблеми галузі та знайти найбільш ефективні методи інтенсифікації процесу сушки. Був визначений оптимальний режим сушки з урахуванням технологічних вимог до якості висушеного продукту.

**Результати.** При сушці тонкодисперсних матеріалів важливою проблемою є забезпечення екологічної та виробничої безпеки сушильних установок. Проаналізувавши різновиди сушки тонкодисперсних матеріалів стає очевидним, що кожен з них має свої переваги та недоліки в процесі експлуатації, але застосування методу сушіння тонкодисперсних матеріалів за допомогою електричного струму, є більш доцільним у порівнянні з іншими. Електричний струм пропускають напряму через шар вологого матеріалу. При цьому вологий матеріал приводять в контакт з електродом і включають безпосередньо в електричний ланцюг, через який пропускають електричний струм. Це забезпечує найкращі показники енергозбереження, екологічності та енергоспоживання.

Одне з головних питань - це забезпечення очищення від пилу та створення безуносних сушилок. Були розглянуті основні методи зневоднення тонкодисперсних матеріалів, вивчені теоретичні та механічні засади сушильних процесів.

**Ключові слова:** сушильні установки, енергоефективність, тонкодисперсні матеріали, інноваційні технології.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-83-88

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** В даний час існує безліч способів сушіння тонкодисперсних матеріалів, але їх технології є застарілими. Тому необхідно здійснити пошук нових методів сушіння з впровадженням оновленого устаткування. Це забезпечить більш ефективну роботу підприємства, що в свою чергу поліпшить його економічний стан. За останні роки не часто згадується про модернізування та розроблення нових технологій в сфері сушіння. Одними із найвідоміших методів є: конвективний (сушарки барабанні, турбінні, киплячого шару, розпилюючі), контактний, радіаційний, віброаерокиплячого шару, струмами високої частоти. Однак всі вони мають ряд суттєвих недоліків.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Питання сушки тонкодисперсних матеріалів широко висвітлені в роботах: А. В. Ликов, О. В. Замицький [3,4], Б. С. Сажин [1], В. И. Коновалов [2], Arun S. Mujumdar [6], Helmut Resch [5], С. С. Кочетов [7], Т. Ф. Киселева [8] та інші.

**Постановка завдання.** Метою даної статті є аналіз вибору оптимального апаратурно-технологічного оформлення процесу сушки конкретного матеріалу з урахуванням останніх розробок у цій сфері.

**Викладення матеріалу та результати.** Конвективній сушці піддають кускові та зернові матеріали. Як сушильний агент застосовуються нагріте повітря, топкові гази або перегрітий пар. Сушильний агент передає матеріалу теплоту, під дією якої з матеріалу видаляється волога у вигляді пари, яка надходить в навколишнє середовище. Таким чином, сушильний агент при конвективній сушці є теплоносієм і поглиначем вологи.

Конвективний спосіб сушіння відрізняється простотою та можливістю регулювання температури матеріалу. Недоліком його є протилежний зміст градієнтів вологовмісту і температури.

Контактна сушка вологих матеріалів здійснюється в вальцевих сушильних установках у результаті безпосереднього контакту матеріалу з нагрітою плоскою або циліндричною поверхнею. Зміна вмісту вологи матеріалу відбувається наступним чином. На початку процесу вона починає зменшуватися на контактній і відкритій поверхні матеріалу; з плином часу більш різко зменшується вологість шарів матеріалу у контактній поверхні. При сушінні колоїдних капілярно-пористих тіл максимальна кількість вологи видаляється з шару, розташованого ближче до відкритої поверхні; при сушінні колоїдних матеріалів - з шару, розташованого ближче до гріючої поверхні. Градієнт вмісту вологи у матеріалі, який висушують, в основному обумовлений пароутворенням в контактному шарі і на відкритій поверхні. Інтенсивність пароутворення і механізм перенесення вологи залежать від температури гріючої поверхні і товщини матеріалу [1,12].

Зневоднення в радіаційних сушарках відбувається прямим впливом на висушуваний продукт променів інфрачервоної частини спектра (ІК-променів) і проводиться за допомогою ламп інфрачервоного випромінювання або нагрітих поверхонь. Радіаційна сушка застосовується переважно як допоміжний спосіб для прискорення зневоднення в комбінації з конвективним, контактним або сублімаційним способом сушіння. Такі сушарки застосовуються, коли необхідно висушувати тонкий шар матеріалу, наприклад для сушки забарвлених металевих виробів,

паперу, тканини, штукатурки, сипучих матеріалів і т.д. У радіаційних сушарках тепло передається матеріалу в основному випромінюванням від електроспіралі, спеціальних ламп розжарювання та кварцових трубок або більш економічним способом - від керамічних або металевих панелей, що обігріваються газами [13].

Проведення процесу в віброкиплячому шарі дозволяє значно збільшити поверхню контакту між частками матеріалу і теплоносієм, інтенсифікувати випаровування вологи з матеріалу і скоротити тривалість сушіння до декількох хвилин. Віброкиплячий шар утворюється під впливом вібраційних коливань на шар дисперсного матеріалу. Принцип створення віброкиплячого шару полягає у тому, що необхідне розпушування і інтенсивне перемішування матеріалу досягається за рахунок аеродинамічних сил, які проходять як через шар сушильного агента, так і шляхом впливу вібраційних коливань на матеріал.

Киплячий шар має низку недоліків: невисока продуктивність сушіння кінцевого продукту. Так, при сушінні високовологих і схильних до злипання матеріалів у шарі виникає неоднорідна структура: з'являються газові бульбашки, нестійкі канали, свищі, що негативно позначається на процесі сушіння. Такі явища в киплячому шарі викликані нерівномірним розподілом газового потоку по перерізу сушильного простору, утворення застійних зон і областей взаємодії матеріалу з сушильним агентом.

При сушці струмами високої частоти підведення тепла здійснюється за допомогою поля електричного струму високої (10-25 мГц) і надвисокої (2000-2500 мГц) частоти.

При сушінні матеріал поміщається між обкладками конденсатора, до яких подається струм високої або надвисокої частоти. Обкладки мають протилежні заряди, тому іони і електрони переміщуються всередині матеріалу до тієї чи іншої обкладки. Під дією змінного електричного поля високої частоти відбувається регульований нагрів матеріалу. При такому способі сушіння випаровування відбувається по всьому об'єму. Змінюючи напруженість поля, можна регулювати температуру матеріалу при сушці.

Недоліки даного способу: високі витрати електроенергії, складне устаткування і обслуговування. Сушка струмами високої частоти дорожче конвективного сушіння в 3-4 рази. [8,15]

Так як описані вище методи сушки мають низку недоліків, відбувається пошук нових методів та технологій сушки тонкодисперсних матеріалів. До інноваційних технологій сушіння відносяться:

*Механічне зневоднення.* Для зменшення теплового навантаження на сушарки важливо мінімізувати вміст вологи в матеріалі. Зневоднення тонкодисперсних матеріалів важко здійснити через їх малі розміри, тому в останні роки успішно розвивалися наступні методи: електроосмотичне зневоднення, перерване електроосмотичне зневоднення, поєднання вакуумної фільтрації з електроосмотичним зневодненням, комбіноване зневоднення поля, мікрофільтрація з підтримкою вібрації. Хоча деякі з перелічених вище інноваційних концепцій були успішно комерціалізовані, існує потенціал для їх подальшого вдосконалення та експлуатації [6,9].

*Сушарки з псевдозрідженим шаром.* Особливістю даних сушарок є протитечійне перемішування, завдяки якому вологість кінцевого продукту є достатньо однорідною у всьому об'ємі сушарки. Волога сировина поступає в шар з одного боку сушарки та інтенсивно перемішується з матеріалом, що міститься в ній. Висушений кінцевий продукт виводиться через патрубок на протилежному боці сушарки. Середня вологість шару практично рівна вологості шару кінцевого продукту, що виводиться. За останні три десятиліття сушарки з псевдорозрідженим шаром стали дуже популярними завдяки їх чисельним перевагам.

*Сушарки з киплячим шаром.* У сушарках киплячого шару матеріал, що надходить на розподільну решітку, продувається наскрізь нагрітим газом зі швидкістю, необхідною для створення киплячого шару. Сушарки можуть працювати як під тиском газу, так і під розрідженням, але перші отримали більше розповсюдження. Сутність даного способу сушки полягає у тому, що вихідний матеріал на розподільній решітці потоками газу приводиться у псевдорозріджений стан. Швидкість потоку газу крізь решітку підбирається такою, щоб матеріал на решітці перебував у завислому «киплячому» стані. У стані «кипіння» кожна частинка омивається потоком гарячих газів, у результаті чого між газом та матеріалом, що забезпечує гарний контакт. При проходженні димових газів крізь киплячий шар з поверхні частинок випарюється волога [7,10].

*Сушіння розпиленням.* Для висушування тонкодисперсних суспензій і розчинів широко використовують розпилюючі сушарки. Розпилювальне сушіння в основному застосовується, як-

що необхідно випарувати розчинник і отримати з висушеного матеріалу порошкоподібний або гранульований сухий продукт. Економічна доцільність розпилювального сушіння особливо очевидна при необхідності сушіння матеріалів, близьких до стану насичення, а також при організації у камері сушарки комбінованого процесу гідротермічної обробки. Висушені матеріали спеціальними пристосуваннями (обертливими дисками, форсунками) диспергуються у сушильній камері, через яку протікає тепло- і вологоносії в газоподібному стані (нагріте повітря, гази продуктів горіння палива, перегріта пара та інше.). Завдяки розвиненій поверхні диспергованих частинок відбувається інтенсивний тепло- і масообмін з агентом сушіння (теплоносієм), і розпорошені частинки швидко віддають свою вологу. Сухий продукт у вигляді порошку падає на дно сушильної камери, звідки безперервно видаляється. Невипавша частина висушених часток видаляється з відпрацьованого газу або повітря в пиловідокремлювачах (тканинних фільтрах, циклонах, скрубберах і т.д.) [2,11].

Найважливішою умовою для правильного сушіння є розпилення матеріалу для отримання частинок, максимально однакових за розміром. Це може бути досягнуто підбором відповідної розпилювальної форсунки або диска, регулюванням тиску рідини або повітря в форсунці, швидкості обертання розпилювального диска, в'язкості і температури матеріалу, а також вмісту в ньому сухих речовин.

*Радіочастотні / вакуумні сушарки.* Використовування радіочастотного-нагрівання, в комбінації з вакуумним сушінням стало найкращим варіантом для більшості застосувань у промисловості твердих тонкодисперсних матеріалів. Принцип дії якого полягає в використанні високочастотного-генератору, який працює з частотою 2 - 4 МГц. Камера, що має ємність приблизно 20м<sup>3</sup>, і може витримувати тиск, що дорівнює 2.3 кПа [5,14].

Технології радіочастотної сушки у поєднанні з вакуумом вдалося висушити великі розміри пиломатеріалів, які зазвичай не висушують звичайні печі, оскільки сушарки для гарячого повітря потребують надмірних часів і викликають неприйнятні дефекти. На основі вимірювання внутрішнього тиску під час сушіння і залишкової деформації в деревині було зроблено висновок, що механізм сушіння являє собою поєднання потоку тиску і дифузії вологи на поверхню. Це той потік, який пояснює високий рівень сушіння, а також низький рівень напруження.

Вакуумні сушарки є свого роду сушильними машинами, які застосовуються при низькій температурі в вакуумі, а це набагато швидше, ніж в звичайних печах. Принцип високої частоти електричного поля - як основне джерело для опалення, він діє на матеріал рівномірно. Інтенсивність обігріву безпосередньо залежить від вмісту вологи в матеріалі та електричного поля, в той час як переміщення вологи залежить від проникності матеріалу та внутрішнього градієнта тиску.

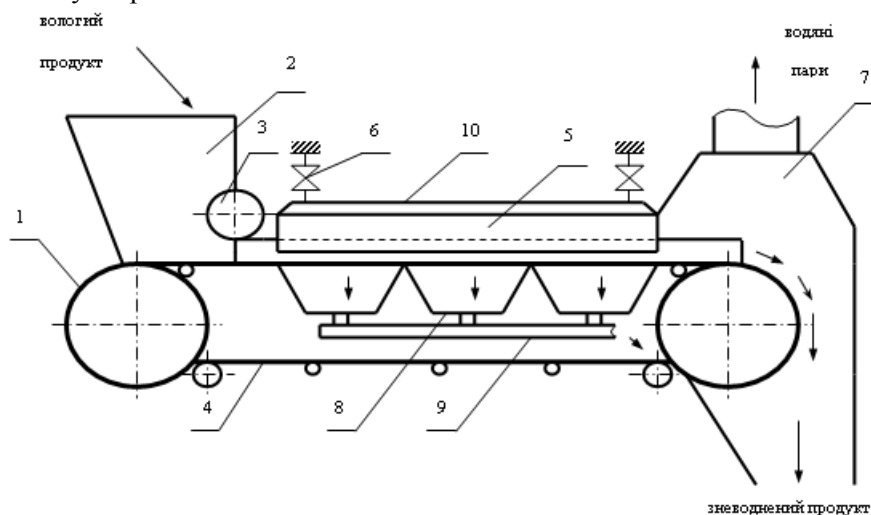
*Комбіновані процеси сушки.* Комбіновані сушильні установки дозволяють більш якісно просушити матеріал в порівнянні з іншими сушарками. Класичним прикладом є повторне висушування шпону після первинного сушіння або з використанням мікрохвиль чи радіочастотного струму, з'єднаного з конвекцією гарячого повітря.

З вище сказаного можна зробити висновок, що існуюче обладнання для сушіння тонкодисперсних матеріалів має ряд суттєвих недоліків, тому розробка нових способів сушки є актуальною задачею на теперішній час. Спосіб сушки дисперсних матеріалів за допомогою електричного струму. Електричний струм пропускають безпосередньо через шар вологого матеріалу. При цьому вологий матеріал приводять в контакт з електродами та включають безпосередньо в електричний ланцюг, через який пропускають електричний струм. При проходженні електричного струму через вологий матеріал в останньому виділяється теплова енергія, яка призводить до розігріву і випаровуванню вологи. У зв'язку з тим, що при зменшенні вологості матеріалу, величина струму, що протікає через матеріал і кількість тепла, що виділяється мимовільно знижуються, контроль за процесом сушіння здійснюють за величиною струму, що протікає в ланцюзі. Вакуумна обробка або продування просушуємого матеріалу стисненим повітрям або іншим газом одночасно з пропусканням електричного струму полегшує видалення парів вологи і прискорює процес сушіння.

Нами запропонований метод, який полягає в підвищенні продуктивності процесу і зниженні його енергоємності, за рахунок впливу електричним струмом тільки на тонкий шар матеріалу висотою 20 ... 30 мм, а пари що утворюються створюють надлишковий тиск в цьому шарі, що призводить до видалення (витискання) вологи з необроблюваного шару [3,4]. Використо-

вуючи даний спосіб, видалення вологи відбувається комбіновано: за рахунок резистивного нагріву рідкої фази тонкого шару і пароутворення в ньому та за рахунок надлишкового тиску в оброблюваному шарі в результаті чого видаляється вільна капілярна волога з необроблюваного шару. Такий комбінований вплив електричного струму і надлишкового тиску парів дозволяє отримати велику інтенсивність зневоднення при мінімальній енергоємності процесу. Поставлена мета досягається тим, що зневоднюючий агрегат містить електроди пластинчастої форми, які встановлені над зневоднюючим матеріалом і мають можливість контакту з останнім шляхом занурення електродів в матеріал на глибину 20...30 мм, а над електродами встановлений герметизуючий кожух.

*Реалізація даного методу на практиці.* Запропонований спосіб був реалізований в пристрої зображеному на рис.



**Рис.** Пристрій для комбінованого способу зневоднення продуктів збагачення: 1 – фільтротканина; 2 – бункер-живильник; 3 – барабан-ущільнювач; 4 – отвори; 5 – пластинчасті електроди; 6 – ізолятори; 7 – зонт; 8 – воронки; 9 – колектор; 10 – герметизуючий кожух

Установка (рис.) аналогічна за конструкцією стрічковому вакуум-фільтру і складається з горизонтального стрічкового конвеєра 1 на початку якого встановлений бункер-живильник 2. У розвантажувальній щілині бункера-живильника 2 встановлений барабан-ущільнювач 3. Стрічка конвеєра 3 обладнана отворами 4 для пропуску фільтрату і покрита фільтротканиною 1. Уздовж робочої гілки конвеєра підвішені пластинчасті електроди 5, закріплені на ізоляторах 6 таким чином, що електроди контактують з верхнім шаром оброблюваного матеріалу. Електроди 5 з'єднані з шинами для підведення електроенергії. В кінці конвеєра встановлено зонт 7 для відводу водяної пари.

Під робочою гілкою конвеєра встановлені воронки 8 для прийому фільтрату. Воронки 8 з'єднані з колектором 9 для відведення фільтрату. Установка працює таким чином. Вологий матеріал, який підлягає зневодненню, подається з бункера-живильника 2 на рухому стрічку конвеєра і ущільнюється барабаном-ущільнювачем 3. Потім продукт надходить в простір між електродами 5 таким чином, що між електродами 5 і продуктом є електричний контакт. Електричний струм через електроди 5 протікає по рідкій фазі продукту і резистивно розігріває рідину, перетворюючи її на пару, в результаті чого підвищується тиск в оброблюваному шарі продукту (назвемо його «активним»). Завдяки підвищенню тиску в активному шарі, з нижчого шару видавлюється вільна капілярна волога, як при традиційній фільтрації під різницею тисків. Фільтрат збирається в воронки 8 і колектором 9 відводиться в хвіст канави. Остаточне видалення парів рідини з активного шару (у вигляді пари) відбувається при розпушуванні продукту в момент розвантаження з конвеєра 1. Пари відводяться за допомогою зонту 7. Ізолятори 6 служать для ізоляції електродів 5. Над електродами 5 встановлений герметизуючий кожух 10.

Даний спосіб був реалізований на лабораторній установці, виконаній за схемою наведеною на рис. До електродів установки підводився змінний струм промислової частоти напругою 36 В. Техніко-економічні показники запропонованого способу, отримані при випробуваннях лабораторної установки, а також показники відомих способів показують, що даний спосіб має

найвищу питому продуктивність у порівнянні з усіма існуючими способами. Питома витрата умовного палива на випаровування 1кг вологи приблизно 0,068кг, а питома продуктивність близько 18 т/ч.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Таким чином, проаналізувавши різновиди сушки тонкодисперсних матеріалів ми можемо помітити, що кожен з видів має свої переваги та недоліки в процесі експлуатації, але застосування методу сушіння тонкодисперсних матеріалів за допомогою електричного струму, який пропускають безпосередньо через шар вологого матеріалу, має ряд переваг на відміну від існуючих, що свідчить про доцільність його впровадження.

Перевагами даного способу є: найменша витрата умовного палива для випаровування 1 кг вологи, низькі економічні витрати при впровадженні на виробництво, низький рівень викидів забруднених газів в атмосферу.

В подальшому планується встановлення закономірностей даного методу для поліпшення якості кінцевого продукту і підвищення енергоефективності процесу сушки тонкодисперсних матеріалів.

#### Список літератури

1. Сажин Б.С. Научные основы техники сушки/ Б.С. Сажин, В.Б. Сажин // М.: Наука. – 1997. – 448 с.
2. Коновалов, В.И. Новые зарубежные исследования в области сушки и термообработки: результаты и тенденции (1. Библиография. 3. Программное обеспечение) / В.И. Коновалов, Т. Кудра, Н.Ц. Гатапова // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 14, № 3. – С. 530–537
3. Каварма И.И., О.В. Замыцкий // Деп. рук. в ГНТБ Украины, 1994
4. Замыцкий О.В. Экологически чистый способ доводки тонкодисперсных продуктов обогащения по влажности / Замыцкий О.В. // МГУ. - М.- 1995.-№ 3. – С. 82-84
5. Helmuth Resch High-frequency electric current for drying of wood – historical perspectives. Maderas. Ciencia y tecnología 8(2). –2006. – с.67-82
6. Arun S. Mujumdar Innovation in drying techniques and future trends. Springer-Verlag Tokyo 2001 с.63-75
7. Декл. пат. 2303219. Российская Федерация, МПК F26B3/092. Сушилка с виброкипящим слоем / Кочетов С.С.; Кочетова М.О.; Львов Г.В.; Кочетов С.С.; Кочетов О.С. – Опубл. 20.07.2007
8. Киселева Т.Ф. "Технология сушки: Учебно-методический комплекс", Киселева Т.Ф. // Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. - Кемерово, 2007. - 117 с.
9. Данилов О.Л. Экономия энергии при тепловой сушке. / Леончик Б.И., Данилов О.Л., // М. - 1986.- 135 с.
10. Дерягин Б.В. Вода в дисперсных системах/ Б.В. Дерягин, Н. В. Чураев, Ф.Д. Овчаренко и др. – М.: Химия, 1989.– 288 с.
11. Корягин А.А. Сушильные аппараты и установки, каталог./ Корягин А.А. // 1989.- с. 11
12. Рудобашта С.П. Математическое моделирование процесса конвективной сушки дисперсных материалов/ Рудобашта С.П. // Известия Академии наук. Энергетика.- 2000. - №4.- С. 98-109
13. Фролов В.Ф. Моделирование сушки дисперсных материалов/ Фролов В.Ф. // Л.: Химия. - 1987.- 208 с.
14. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности / Лыков М.В. // М. : Химия, 1970. – 429 с
15. Лыков А.В. Теория тепло- и массопереноса / Лыков А.В. , Михайлов Ю.А. // М. : Госэнергоиздат, 1963. – 536 с.

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

УДК 37.091.355.2.199

Є.О. НЕСМАШНИЙ, д-р техн. наук, проф., Г.І. ТКАЧЕНКО, канд.техн.наук, доц.  
К.В.ГЕРАСИМОВА, канд.техн.наук, доц., Криворізький національний університет

### ВИКОРИСТАННЯ ЧИСЕЛЬНИХ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ

**Мета.** В статті науково обґрунтовано необхідність впровадження інноваційних педагогічних технологій у процес професійної підготовки студентів, вибір яких пов'язаний з інформаційними технологіями та студентів технічних спеціальностей. У фізиці історично моделювання є одним із важливіших методів дослідження. Тому висвітлюється проблема створення на заняттях з фізики такого освітнього середовища, в якому органічно поєднуються традиційні і комп'ютерні методи навчання. Одним з найбільш надійних способів аналізу реального фізичного процесу є математичне та імітаційне моделювання. Добре побудована модель більш доступна для досліджень ніж реальний об'єкт. Розглядається доцільність використання чисельних методів моделювання при вивченні фізичних процесів з метою активізації пізнавальної діяльності та розвитку наукового мислення студентів.