

## ВІДГУК

офіційного опонента — доктора технічних наук, доцента  
Ляпоценка Олександра Олександровича на дисертаційну роботу  
Госовського Романа Романовича «**Закономірності фільтраційного сушіння  
органічної сировини для виготовлення альтернативного палива**»,  
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

**Актуальність роботи.** Агропромисловий комплекс України щорічно генерує великий обсяг різноманітних відходів та залишків, зокрема стебел соняшника, яких у післязбиральний період на полях залишається приблизно 300-600 ц/га. Зважаючи, що нижча теплотворна здатність подрібнених стебел соняшника становить 12,5 МДж/кг, то одним із раціональних методів їх утилізації є виробництво альтернативного твердого палива з такого виду сировини.

Технологія виробництва твердого палива з такого виду сировини передбачає стадії попереднього подрібнення та сушіння останньої до вологості 4-12%, що сприяє забезпеченню необхідних раціональних умов брикетування та якісних характеристик отриманих брикетів. Організація високоінтенсивного та ефективного сушіння органічної сировини є складною технологічною та тепломасообмінною задачею, адже процеси теплообміну між вологим матеріалом і тепловим агентом лімітуються низькою теплопровідністю органічного матеріалу, а масообміну – інтенсивністю перенесення. Доля затрат на сушіння, в собівартості виготовлення палива, є значною, оскільки сушарки, якими оснащують технологічні лінії виробництва твердого біопалива є енергоємними, що відповідно, підвищує собівартість готової продукції. Тому, необхідним є дослідження нових методів сушіння та впровадження у виробництво сушарок, які реалізують дані методи.

Фільтраційне сушіння, яке полягає у профільтруванні теплового агенту крізь пористу структуру стаціонарного шару вологого дисперсного матеріалу, є високоінтенсивним методом зневоднення вологих дисперсних матеріалів і дає змогу забезпечити науково обґрунтовані та економічно вигідні технологічні параметри процесу сушіння та забезпечити високоякісні показники готової продукції. Однак, аналіз наявних джерел літератури показав, що процеси тепло- і масообміну під час фільтраційного сушіння органічної сировини вивчені недостатньо. Саме дослідженням (експериментальним та теоретичним) висушування вологих дисперсних матеріалів органічного походження фільтраційним методом присвячена дисертація Госовського Р.Р., що і визначає її актуальність.

Дисертаційна робота відповідає пріоритетному напрямку розвитку науки й техніки на період до 2020 року – «енергетика та енергоефективність» (Закон України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», стаття 3, пункти 3 та 4), виконувалась згідно з планом держбюджетних науково-дослідних робіт кафедри хімічної інженерії Інституту хімії та хімічних технологій Національного університету «Львівська політехніка» за темами: «Дослідження процесів тепломасообміну в системах з твердою фазою» (ДР №0112U007340) та «Гідродинаміка і тепломасообмін в системі тверде тіло - газ, тверде тіло – рідина» (ДР №0117U004122).

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі** Госовського Р.Р. є високою й базується на критичному аналізі вітчизняних та іноземних джерел літератури за даною проблемою, гармонійній постановці мети і задач дослідження, використанні методів фізичного і математичного моделювання, числових та аналітичних методів розв'язання диференційних рівнянь. Для аналізу та узагальнення результатів експериментальних досліджень використовувались спеціалізовані пакети прикладних програм, а саме CAS (Computer Algebra System), CAD (Computer Aided Design), CAE (Computer-Aided Engineering) системи.

**Достовірність результатів досліджень** забезпечується коректною постановкою і вирішенням завдань, багаточисельними експериментами та їх відтворюваністю, використанням сучасних прикладних комп'ютерних програм для обробки результатів експериментальних досліджень і моделювань. Наукові положення та теоретичні висновки у своєму логічному викладенні не суперечать фундаментальним положенням гідродинаміки та основним законам з теорії тепломасообміну.

**Наукова новизна дисертаційних досліджень.** У результаті комплексного теоретичного й експериментального дослідження гідродинаміки, тепломасообміну, внутрішньодифузійних процесів та кінетики фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника, у роботі автором отримано нові наукові результати у галузі процесів і обладнання хімічної технології та інженерії, а саме визначено коефіцієнт опору стаціонарного шару подрібнених стебел соняшника, що дає змогу застосовувати залежність Дарсі-Вейсбаха для визначення втрат тиску у шарі матеріалу під час профільтрування газового потоку, а також запропонована розрахункова залежність у безрозмірній формі для прогнозування гідродинаміки фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника.

На основі узагальнення результатів тепло- та масообміну фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника отримано

критеріальні рівняння для визначення коефіцієнтів тепло- та масовіддачі, які дають змогу розрахувати технологічні параметри процесу фільтраційного сушіння вказаного матеріалу.

Зважаючи на складну багат шарову структуру стебел соняшника, автором роботи запропоновані математичні моделі внутрішньодифузійного масоперенесення під час фільтраційного сушіння подрібнених зовнішніх та внутрішніх тканин стебел соняшника, а також отримані залежності для розрахунку коефіцієнтів ефективної внутрішньої дифузії вологи з частинок подрібнених зовнішніх та внутрішніх тканин стебел соняшника за різних температур теплового агенту.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в можливостях застосування отриманих критеріальних залежностей гідродинаміки та тепло масообміну для прогнозування енергетичних витрат на реалізацію процесу фільтраційного сушіння вказаного виду сировини, розрахунку оптимальних коефіцієнтів тепло- і масообміну, а також вибору раціональних параметрів теплового агенту для забезпечення високої інтенсивності процесу. Автором роботи визначено оптимальне значення вологовмісту подрібнених стебел соняшника, за якого різниця між значенням нижчої теплотворної здатності та витратами на фільтраційне сушіння є максимально можливою, що є вкрай важливим для зменшення енерговитрат процесу фільтраційного сушіння, а також реалізації ефективного брикетування подрібнених стебел соняшника з отриманням брикетів високої якості.

Отримані результати дослідження покладено в основу розробленої методики розрахунку основних конструктивних розмірів установки фільтраційного сушіння для реалізації зневоднення органічної сировини, водночас, автором запропонована принципова схема установки, яка захищена патентом України на корисну модель.

З висушених фільтраційним методом подрібнених стебел соняшника була виготовлена експериментальна партія брикетів та встановлена відповідність їх фізико-механічних властивостей існуючим стандартам. Практична реалізація отриманих результатів дисертаційної роботи полягає у передачі результатів теоретичних та експериментальних досліджень ПП «Тайфун-Плюс» та ПП «Роман» для впровадження у виробництво та у навчальний процес кафедри хімічної інженерії під час викладання лекційних курсів: «Методологія експериментальних і теоретичних досліджень тепло- і масообмінних процесів», «Процеси та апарати хімічної технології» та «Методологія фізичного моделювання хіміко-технологічних процесів» для студентів-магістрів і під час виконання магістерських робіт, що підтверджено відповідними актами, які наведено у додатках до дисертаційної роботи.

**Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.** Основні положення та результати дисертаційної роботи у достатній мірі відображені в опублікованих 18 наукових працях, з яких 8 статей у наукових фахових виданнях України, зокрема 2 статті у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз (у тому числі 1 стаття в науковому фаховому виданні, яке обліковується міжнародною наукометричною базою Scopus), 9 публікацій у матеріалах міжнародних і всеукраїнських наукових конференцій, конгресів, форумів та семінарів, а також 1 патент України на корисну модель. Обсяг і зміст опублікованих праць повністю охоплює всі розділи дисертації, в достатній мірі відображає її зміст, а особистий внесок здобувача в опублікованих у співавторстві роботах є визначальним.

**Оцінка змісту дисертаційної роботи.** Дисертаційна робота складається з анотації на двох мовах, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел літератури та додатків.

**У вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовані мета і завдання досліджень, наукова новизна та практичне значення, наведені відомості про особистий внесок автора і апробацію отриманих результатів.

**В першому розділі** дисертаційної роботи, на основі аналізу енергозатратності технологічних етапів виробництва твердого біопалива з грубостеблової сировини з підвищеним вологовмістом, зроблено висновок про те, що основні зусилля необхідно спрямувати на зменшення енерговитрат на стадії сушіння. На основі проведеного критичного аналізу джерел літератури щодо основних способів та режимів сушіння вологих дисперсних матеріалів, встановлено, що фільтраційний метод сушіння є найбільш ефективним для зневоднення вологих дисперсних матеріалів і може бути використаним для зневоднення подрібнених стебел соняшника. Однак, результати теоретичних і експериментальних досліджень гідродинаміки, тепломасообміну та кінетики з врахуванням дифузійних процесів під час фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів є справедливими лише для досліджуваних матеріалів і їх використання для подрібнених стебел соняшника є неможливим через велику похибку між теоретично розрахованими та експериментальними даними, на основі чого сформовано мету і завдання досліджень.

**У другому розділі** обґрунтовано вибір стебел соняшника, як об'єкту сушіння. На основі аналізу зрізів стебел соняшника, встановлено, що вони мають складну багат шарову структуру, утворену з відмінних за своєю будовою тканин. На основі компонентного складу стебел стосовно вмісту целюлози, геміцелюлози та лігніну підтверджено можливість використання



результатів дослідження тепломасообміну між тепловим агентом і частинками подрібнених стебел соняшника отримано критеріальні залежності, які дають змогу визначати коефіцієнти тепловіддачі від теплового агенту до стаціонарного шару сухих та вологих подрібнених стебел соняшника, а також коефіцієнти масовіддачі в межах досліджуваних режимів з достатньою для практичних розрахунків точністю. На основі експериментальних досліджень кінетики фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника за різних висот шару, швидкості фільтрування теплового агенту та температури встановлено раціональні науково-обґрунтовані параметри процесу, за яких енерговитрати будуть найменшими. Автором представлені результати досліджень внутрішньодифузійних процесів, спрямовані на визначення коефіцієнтів ефективної внутрішньої дифузії вологи з середини частинок матеріалу до їх поверхні за різних температур. Коефіцієнти ефективної дифузії визначались окремо для призматичних і кулястих частинок подрібнених стебел соняшника, утворених, відповідно, внаслідок подрібнення зовнішніх та внутрішніх тканин. Важливим є те, що в роботі визначено залежність цих коефіцієнтів від температури та представлено розрахункові залежності для можливості їх обчислення.

**У п'ятому розділі** наведені фізико-механічні характеристики виготовленої на пресі дослідної партії брикетів з подрібнених та висушених фільтраційним методом стебел соняшника. Характеристики брикетів відповідають діючим стандартам. В розділі наведена принципова схема установки фільтраційного сушіння та методика розрахунку основних конструктивних розмірів обладнання. Автором визначено оптимальне значення вологовмісту подрібнених стебел соняшника, за якого різниця між значенням нижчої теплотворної здатності та витратами на фільтраційне сушіння є максимально можливою, що є надзвичайно важливим фактом для енергоощадної організації процесу фільтраційного сушіння, з врахуванням можливості отримати тверде біопаливо з високою теплотворною здатністю.

В додатках наведено акти передачі до впровадження та використання результатів дисертаційної роботи, розрахункові дані з вибору оптимальних параметрів процесу сушіння подрібнених стебел соняшника, список опублікованих праць здобувача за темою дисертації.

**Автореферат** ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає основні її наукові результати, що отримані здобувачем, а обсяг відповідає встановленим нормам.

**Зауваження щодо змісту і оформлення дисертації та автореферату, завершеності дисертації в цілому:**

1. За текстом дисертації та автореферату недостатньо обґрунтовано, чому в темі дисертаційної роботи зазначено «Закономірності фільтраційного сушіння органічної сировини...» та за якими критеріями з усіх можливих відходів рослинної сировини агропромислового комплексу було обрано об'єктом сушіння саме тільки стебла соняшника?
2. Технологічну схему експериментальної установки на рис.2.3 (с.52) виконано з порушенням вимог, а саме для зображення типового обладнання (ресиверна ємність, насос, вентилятор, теплообмінник, насоси і т.п.) не застосовано стандартні позначення, одночасно трубопроводи та трубопровідну арматуру достатньо було показати умовно.
3. Відсутні основні конструктивні розміри експериментального зразка контейнера для дослідження процесу сушіння подрібненої рослинної сировини в стаціонарному шарі фільтраційним методом, наведеного на рис.2.4 (с.53).
4. В другому розділі дисертації відсутні технічні характеристики деяких вимірювальних приладів, наприклад, не вказано точність та діапазон вимірювань електронного вакуумметра ДВ250А для вимірювання перепаду тиску.
5. Чим пояснюється той факт, що визначений експериментально гранулометричний склад подрібнених стебел соняшника, наведений в табл.3.1 та на гістограмі рис.3.1 (с.66), не підкоряється найбільш вірогідному для полідисперсних систем логарифмічно-нормальному закону розподілу часток за розмірами?
6. В п'ятому розділі доцільно було навести комбіновану принципову повну технологічну схему установки для отримання твердого біопалива (брикетів), що включає всі стадії переробки нехарчових залишків рослинної сировини, а не тільки апаратурне оформлення стадії фільтраційного сушіння після подрібнення перед пресуванням.
7. На с.3 автореферату присутнє посилання на додаток А, який в самому авторефераті відсутній. Малий розмір шрифту надписів пояснень до легенд позначень кривих на рис.3, 6, 13 з автореферату не дозволяє їх розібрати, всі надписи на рисунках слід наводити розміром шрифту основного тексту.

Вказані зауваження не стосуються принципових положень дисертаційної роботи, а тому не зменшують її науково-практичної цінності.

## ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Госовського Романа Романовича «Закономірності фільтраційного сушіння органічної сировини для виготовлення альтернативного палива» є завершеним науковим дослідженням, виконаним на актуальну тему, в якій отримані нові науково-обґрунтовані результати в галузі процесів та обладнання хімічної технології, що в сукупності вирішують важливу науково-прикладну задачу фільтраційного сушіння подрібнених відходів рослинної сировини для виробництва твердого біопалива. Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології.

За актуальністю, науковою новизною, практичним значенням та сформульованими науковими положеннями дисертаційна робота Госовського Романа Романовича «Закономірності фільтраційного сушіння органічної сировини для виготовлення альтернативного палива» відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р., які висуваються до кандидатських дисертацій, а здобувач Госовський Роман Романович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології.

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук, доцент кафедри процесів та обладнання  
хімічних і нафтопереробних виробництв  
Сумського державного університету

О.О.Ляпощенко

Підпис д.т.н., доц. Ляпощенко О.О. засвідчую:  
Вчений секретар  
Сумського державного університету

А.І.Рубан

