

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра механіки та інженерії агроєкосистем

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

БОРТНИК РОМАН ОЛЕГОВИЧ

УДК 631.363.2

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БІОКОМПОСТІВ ШЛЯХОМ
ЇХ ГРАНУЛЮВАННЯ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Бортник Р.О.

Керівник роботи

Кухарець С.М

доктор технічних наук, професор

Житомир – 2022

АНОТАЦІЯ

Бортник Роман Олегович. Підвищення ефективності біокомпостів шляхом їх гранулювання. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2022.

В магістерській роботі в результаті проведеного аналізу існуючих методів та технічних засобів з гранулювання добрив виявлено основні недоліки вузлів гранулювання. У зв'язку з цим було розроблено конструктивно-технологічну схему та виготовлено вузол гранулювання. Обґрунтовано раціональні конструктивно-технологічні параметри розробленого вузла гранулювання: частота обертання нагнітального шнека $n_{\text{шн.}}=72$ об/хв., крок шнека в зоні стиснення $t=57$ мм. .

За даними виробничих випробувань лабораторно–виробничого зразка вузла гранулювання: продуктивність по видаленій волозі 11,5 кг/год, питомі витрати енергії на видалення 1 кг. вологи 378 кДж., продуктивність біотрофу 57 кг/год.; енергоспоживання на одиницю маси отриманого продукту – 0,023 кВт год/кг.

Встановлено, що використання вузла гранулювання технологічної лінії з виробництва біокомпостів дозволяє: скоротити витрати на зберігання на 37% та витрати на транспортування на 53%; збільшити асортимент продукції, що випускається.

Ключові слова: вузол гранулювання, продуктивність, шнек, добрива, вологість.

ANNOTATION

Bortnyk Roman Olegovich. Increasing the efficiency of biocomposts by granulating them. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2022.

In the master's thesis, as a result of the analysis of the existing methods and technical means for granulating fertilizers, the main shortcomings of the granulation units were revealed. In this connection, a structural and technological scheme was developed and a granulation unit was manufactured. The rational structural and technological parameters of the developed granulation unit are substantiated: the rotation frequency of the injection screw $n_{shn}=72$ rpm, the step of the screw in the compression zone $t=57$ mm. .

According to the production tests of the laboratory-production model of the granulation unit: productivity in terms of moisture removed is 11.5 kg/h, specific energy consumption for removal of 1 kg. moisture 378 kJ, biotroph productivity 57 kg/h; energy consumption per unit mass of the product is 0.023 kWh/kg.

It was established that the use of the granulation unit of the technological line for the production of biocomposts allows: to reduce storage costs by 37% and transportation costs by 53%; increase the range of products produced.

Key words: granulation unit, productivity, auger, fertilizers, humidity.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	8
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС РОБОТИ ВУЗЛА ГРАНУЛЮВАННЯ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ...	17
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ ВУЗЛА ГРАНУЛЮВАННЯ.....	27
ВИСНОВКИ.....	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	37

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Підвищення родючості ґрунтів та збільшення врожайності сільськогосподарських культур є одним із найважливіших завдань сільськогосподарського виробництва.

Зниження інтенсифікації землеробства за останні десять років у світі призвело до зменшення вмісту гумусу у ґрунті з 2,2 – 2,0 до 1,8 – 1,4%, розпочався процес підкислення ґрунтів, помітно падає вміст рухомих форм фосфору та обмінного калію. Різке зниження застосування органічних добрив, природним чином відбивається на родючості і в кінцевому результаті, на врожайності всіх сільськогосподарських культур та якості продукції рослинництва [4, 6].

З 1991 року становище із родючістю ґрунтів в Україні стрімко погіршується. Застосування мінеральних добрив знизилося вдесятеро, а окремих зонах – в 20...30 разів, органічних добрив – в 3,6 разу. За останні 11 років відзначено зменшення вмісту гумусу в середньому по Україні на 0,3%. Зниження цього показника лише на 0,1% призводить за інших рівних природно-економічних умов зменшення врожайності зерна на 0,8...1 ц з 1 га [4].

Один з напрямів поліпшення родючості ґрунту є застосування органічних добрив. Одним із основних джерел органічних добрив є відходи тваринництва - гній та послід.

Їх неповне використання в умовах зростання вартості мінеральних добрив поряд з екологічними проблемами призводить до зниження родючості ґрунтів і майже повсюдної втрати гумусу [3].

В умовах активного застосування мінеральних добрив у сільському господарстві органічні добрива не лише не втрачають свого значення, але їх роль у підвищенні родючості ґрунтів, одержанні високоякісної, екологічно чистої продукції рослинництва зростає. Тому необхідно забезпечити сільське господарство високопродуктивними та економічно вигідними способами та

технологіями виробництва високоякісних органічних добрив, вирішуючи цим завдання утилізації відходів виробництва тваринницьких підприємств та птахофабрик [3].

Об'єкт наукового дослідження. Процес гранулювання біокомпостів, із застосуванням шнекового та вальцового пресу.

Предмет наукового дослідження. Параметри технологічного процесу гранулювання біокомпостів у шнековому та вальцевому пресі.

Метою наукового дослідження. Є обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів вузла гранулювання, які збільшують асортимент органічних добрив.

Задачі досліджень:

- розробити конструктивно-технологічну схему, виготовити дослідний зразок та обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри вузла гранулювання;

- провести експериментальні дослідження процесу гранулювання та дослідити вплив технологічних параметрів на енергетичні показники приводу пресуючого шнека та обтискних вальців.

Методи наукового дослідження. У дослідженні використано методи математичної статистики, теорії експерименту. Використання даних методів ґрунтувалося на застосуванні сучасних технічних засобів та вимірювальних приладів. Експериментальні методи дослідження реалізовані на фізичних моделях та дослідному зразку вузла гранулювання у виробничих умовах. Результати експериментів були опрацьовані методом математичної статистики у засобі спеціалізованого пакету зі статистичного аналізу та обробки даних STATGRAPHICS PLUS для Windows і редактора електронних таблиць MS Excel.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Бортник Р. О.** Результати дослідження лабораторної експериментальної установки для гранулювання біокомпостів. Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та

молодих вчених факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ – 2022» 20 травня 2022 року Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 10-12.

2. Кухарець С. М., **Бортник Р. О.** Аналіз методів виробництва гранульованих добрив. *Збірник тез доповідей XXIII Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (16–18 жовтня 2022 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Житомир. 2022. С. 298-300.

3. **Бортник Р.О.** Аналіз конструктивно-технічних рішень пресуючих пристроїв. *Збірник тез VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 31 березня 2021 року, м. Житомир. С. 251-253.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для виробництва представляє розроблена конструктивно-технологічна схема та вузол гранулювання.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з **18 найменувань**. **Загальний обсяг роботи становить 50 сторінок комп'ютерного тексту, містить 37 рисунків.**

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАНЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз методів виробництва гранульованих добрив

В даний час є загальні принципи підходу до вибору найбільш доцільних методів гранулювання залежно від агрегатного стану та фізичних властивостей вихідних речовин [1].

У загальному випадку гранулювання включає такі технологічні стадії переробки:

- підготовку вихідної сировини, дозування, змішування компонентів;
- власне гранулоутворення (агломерація, нашаровування, кристалізація, ущільнення та ін.);
- стабілізацію структури (зміцнення зв'язків між частинками сушінням, охолодженням, полімеризацією та ін.);
- виділення товарної фракції (класифікація за розмірами, подріблення великих частинок).

Для гранулювання матеріалів у вітчизняній та зарубіжній практиці застосовують різні методи та апаратуру [2, 3].

Ефективність процесу гранулювання залежить від механізму гранулоутворення, який в свою чергу, визначається способом гранулювання та його апаратним оформленням [1]. У зв'язку з цим методи гранулювання класифікують в такий спосіб (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Методи гранулювання.

Гранулювання методом окочування полягає в попередньому утворенні агломератів із рівномірно змочених частинок або в нашаруванні сухих частинок на змочені ядра – центри гранулоутворення. Цей процес обумовлений дією капілярно-адсорбційних сил зчеплення між частинками та подальшим ущільненням структури, викликаним силами взаємодії між частинками у щільному динамічному шарі, наприклад, у грануляторі барабанного типу [1].

Гранулювання методом диспергування рідини у вільний об'єм полягає в розбризкуванні рідини, наприклад безводного сплаву речовини яка гранулюється, на приблизно однорідні за розміром краплі з подальшою їх кристалізацією при охолодженні в нейтральному середовищі (повітря, олії тощо).

Гранулювання методом диспергування рідини (пульп, розчинів, суспензій і сплавів) на поверхню частинок у зваженому стані полягає в імпульсному нанесенні на тверді частинки тонких плівок вихідної речовини і кристалізацією її за рахунок тепла, що підводиться ззовні або за рахунок відведення тепла, що виділяється.

Гранулювання методом формування або екструзії полягає у продавлюванні пастоподібної маси, що являє собою зволожену шихту, або суміш порошку з легкоплавким компонентом, через перфоровані пристосування з подальшим сушінням гранул або їх охолодженням.

Аналіз методів гранулювання, які можуть знайти застосування в технології гранулювання біокомпоста показав, що в залежності від механізму утворення гранул гранулятори можна поділити на дві принципово різні групи: утворення гранул окочуванням та утворення гранул пресуванням.

З опису наведених особливостей процесів, що здійснюються різними методами, випливає, що гранулювання хімічних продуктів відбувається при виникненні переважно таких видів фізико-механічних зв'язків:

- капілярно-адсорбційних сил зчеплення між частинками, викликаних дією негативного гідростатичного тиску рідкої фази в порах (капілярах) і натягом рідинних плівок у місці контакту частинок (плівкові контакти);

- зв'язків, що виникають при кристалізації рідкої фази;

- міжчасткових когезійних зв'язків, зумовлених формою частинок та окремих кристалів.

Наслідком дії всіх видів фізико-механічних зв'язків при гранулюванні є збільшення щільності (зниження пористості) гранульованої речовини, що досягається або ущільненням структури капілярно-пористих тіл при їх окочуванні, пресуванні тощо або зміною агрегатного стану гранульованого матеріалу в результаті кристалізації крапель або тонких плівок на поверхні частинок.

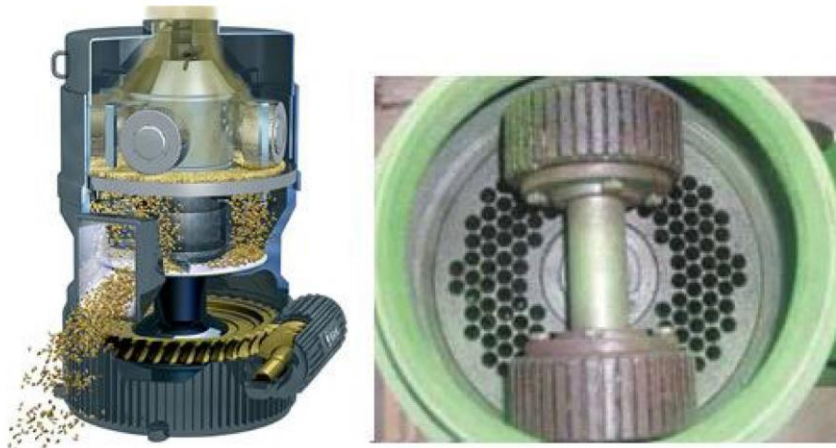
У процесах гранулоутворення проявляються майже всі відомі види фізико-механічних та фізико-хімічних зв'язків наслідком утворення яких є дія наступних сил: капілярні та поверхнево-активні сили на межі розділу твердої та рідкої фаз; адгезійні сили, що виникають в адсорбованих шарах; сили тяжіння між твердими частинками (мономолекулярні сили Ван-дер-Ваальса та сили електростатичного тяжіння); сили зв'язку, які зумовлені утворенням матеріальних містків, що виникають при спіканні хімічної реакції, затвердіння з'єднувальної, плавлення та кристалізації речовини, яка розчиняє при сушінні [1].

1.2. Аналіз конструктивно-технічних рішень пресуючих пристроїв

Залежно від фізико-механічних і гранулометричних властивостей матеріалів, що переробляються, застосовують різні способи їх гранулювання [1, 3]. Зважаючи на те, що в літературі немає конкретних даних про машини для гранулювання органічних сумішей, нами розглянуті пресові пристрої, що застосовуються в різних галузях народного господарства.



а)



б)

Рис. 1.2. Гранулятор ОГМ-1,5 а) з вертикальною матрицею; б) з горизонтальною матрицею.

Говорячи про конічні вальці, окружні швидкості яких в центрі і на периферії однакові, мають різні діаметри, що призводить до нерівномірної захоплювальної здатності вальця по довжині, що в свою черга веде до втрати продуктивності преса через нерівномірну подачу матеріалу за площею матриці і нерівномірному її зносу [6].

Також істотним недоліком всіх матричних пресів є підвищені вимоги до матеріалу, що пресується, по однорідності подрібнення та рівномірності вологості, що часто є причиною нестабільної роботи, особливо при отриманні гранул діаметром до 4-6 мм [1, 4].

До основних переваг матричних прес-грануляторів слід віднести безперервність процесу здійснення знакозмінних навантажень і порівняно невисока матеріаломісткість за достатньої пропускної спроможності [4].

До основних матричних грануляторів, що випускаються в нашій країні, можна віднести преси типу ОГМ, ОПК, ПБК-3; серед пресгрануляторів, що випускаються за кордоном Van Aarsen (Голландія), ED-580 (Франція), E-50/2 (Німеччина), Matador (Данія) [1, 2, 6, 9].



Рис.1.3. Вальцовий прес типу МГД-05.

Вальцові преси (рис. 1.3) являють собою пару циліндричних вальців, що обертаються назустріч один одному, захоплюють пресований матеріал та ущільнюючий його у нескінченну стрічку за принципом прокатки.

Вальці можуть бути як гладкими так і з кільцевими проточками. Якщо поверхня вальця гладка, то необхідний додатковий пристрій розділення одержуваної стрічки на окремі брикети. Вирішують це питання шляхом постачання одного або обох вальців гострими зубами, причому захоплююча здатність при цьому вальців підвищується [3].

Найважливішим параметром, що визначає продуктивність пресів та енерговитрати на ущільнення, є швидкість прокатки [3]. Вплив швидкості прокатки на щільність стрічок пояснюється дією повітря, що видавлюється з пір в процесі його пресування. Оскільки процеси пресування та подачі порошку в зону деформації є безперервними і зона деформації відкрита з одного боку,

повітря випресовується з пор порошку в напрямку, зворотному напрямку подачі матеріалу.

Тому слід очікувати, що повітря може не тільки погіршувати сипкість матеріалу, але і перешкоджати рівномірному надходженню його в зону деформації а отже, впливати на щільність і товщину стрічок.

Для отримання високого ступеня ущільнення матеріалу, що пресується необхідно кілька разів повторити процес, або слід збільшувати діаметр вальців, що веде до збільшення матеріаломісткості конструкції.

Для отримання брикетів однакової щільності подача матеріалу на один оборот повинна бути постійною, що є завданням яке важко здійснити.

Ще одним недоліком вальцевого робочого органу є те, що він може забезпечити необхідний для отримання якісних брикетів час витримки матеріалу під тиском тільки за дуже низьких частот обертання вальців, що призводить до зниження продуктивності.

Практичне застосування преси такого виду знайшли при виробництві гранульованого торфу (МГД-0,5, МТГ) [4, 8].

Гранулятори шестерного типу, порівняно з вище розглянутими, мають невеликий зворотний перебіг пресованого матеріалу (рис 1.4).



Рис. 1.4. Гранулятор шестерного типу.

У цих пресах продукт, надходячи з бункера в простір між зубами шестерень і видавлюється через пресувальні канали у западинах зубів однієї

шестерні заступами зубів іншої. Усередині порожнистих шестерень нерухомий ніж зрізує гранули, що потрапляють на лоток. Аналіз конструкцій і технологічних даних подібних установок показав, що шестерні преси мають хороші характеристики при продуктивності до 1 т/год. Зі збільшенням подачі одержувані гранули не мають достатньої механічної міцності і мають, як правило, порівняно невелику щільність [3].

Штемпельні преси (рис. 1.5) застосовують для брикетування торфу, деревних відходів, жому, комбікормів. У цих пристроях процес брикетування здійснюється зворотно-поступально штемпелем, що рухається в пресувальному каналі відкритого або закритого типів [1, 2].



Рис. 1.5. Штемпельний прес марки ПБС-3

Шнекові гранулятори (рис. 1.6) являють собою циліндричні або конічні шнеки з постійним або змінним кроком, що здійснюють формування у відкритій пресувальній камері. Преси працюють в такий спосіб. Матеріал, надходячи через приймальну горловину, безперервно переміщається шнеком уздовж пресувальної камери і продавлюється через отвори матриці, на виході з якої зрізається ножовим механізмом. Шнекові пресові пристрої, що отримали широке застосування в макаронній та кондитерській промисловостях, за конструктивним виконанням бувають з вертикальним і горизонтальним розташуванням шнеків, одно- або двошнекові [4].



Рис. 1.6. Шнековий гранулятор ФШ-50

Альтернативою екструзійному методу гранулювання, при якому відбувається зношування робочих органів, існує необхідність їх періодичного відновлення та заміни, слід вважати формування мас методом обкатування. Прикладом цього методу є спосіб гранулювання порошкоподібних матеріалів на тарілчастих грануляторах (рис. 1.7).

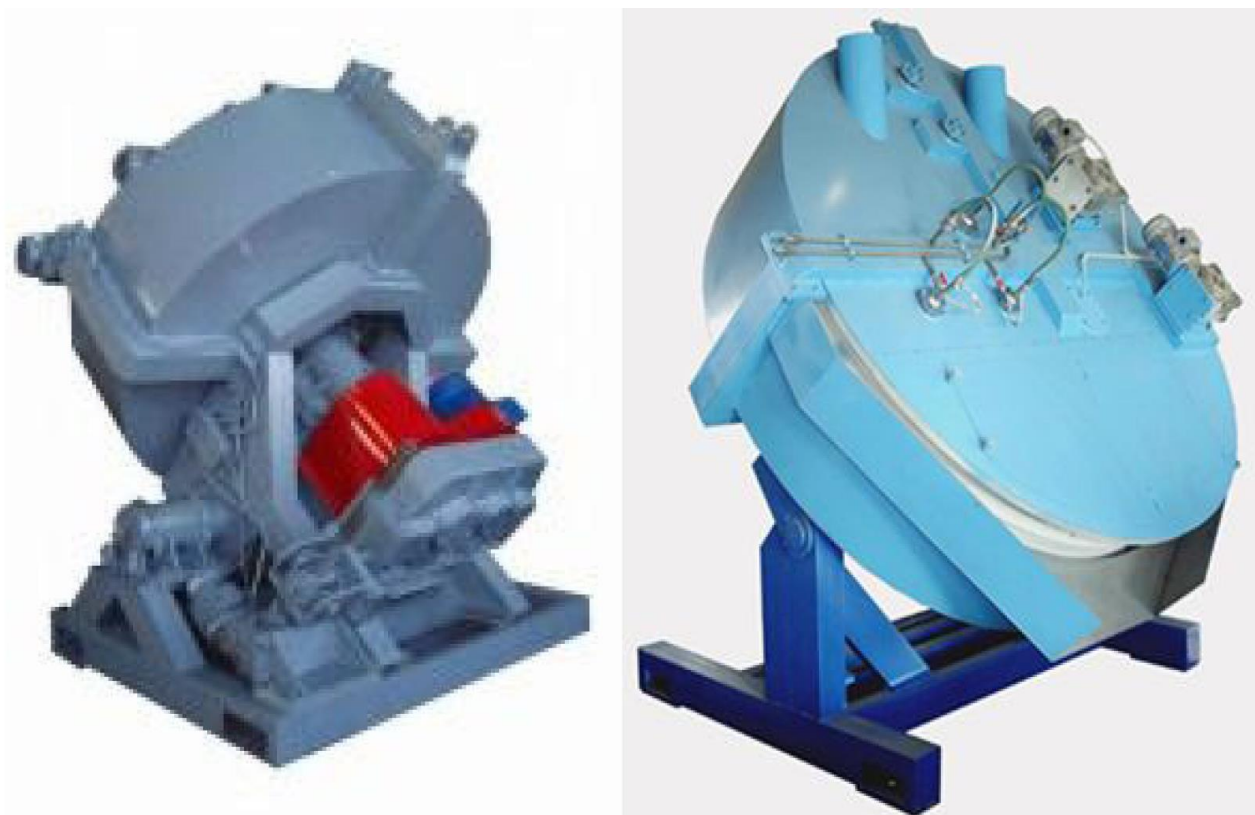


Рис. 1.7. Гранулятор тарілчастого типу Т-200Н

Висновки по розділу

Проаналізувавши пресуючі пристрої різного типу дії та конструкцій, виявили їх основні недоліки: мала продуктивність, що не дозволяє їх використовувати на підприємствах з великим виходом відходів виробництва, це призводить до їх накопичення та забруднення навколишнього середовища; залежність процесу від рівномірності вологості, що призводить до нестабільної роботи гранулюючого пристрою; складність апаратурних рішень основних процесів потребує високої кваліфікації оператора; велика енергоємність вузла гранулювання; низький ступінь ущільнення, що призводить до зниження якості вихідного продукту; відсутній контроль за параметрами процесу, що не дозволяє виконувати оптимальне управління робочими органами.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС РОБОТИ ВУЗЛА ГРАНУЛЮВАННЯ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Аналіз технологічного процесу роботи вузла гранулювання

Лінія переробки органічних відходів в біопродукти містить ємність для посліду (гною) 1, ємність для торфу 2, вузол попередньої підготовки суміші з вивантажувальним пристроєм 3, транспортери 4, 5 для верхньої завантаження ферментерів 6,7,8,9. Вивантажувальний пристрій вузла 3 попередньої підготовки суміші знаходиться під вивантажними транспортерами ємностей 1, 2, об'єднані напрямним кожухом і подрібнюючими бітерами (на рис 2.1 не показані). Вивантажувальний пристрій проходить по всій ширині ємностей і заходить вивантажувальною частиною до будівлі (цеху). Ферментери, в яких відбувається процес компостування, оснащені системою вентиляції 10, вивантажними ланцюгово-планчастими транспортерами, розташованими по всьому днищу і дозуючими заслінками, які дозволяють забезпечити рівномірне завантаження реверсивного стрічкового транспортера 11, який подає біокомпост на фасовку, а іншу частину до блока 12 (вузол гранулювання)

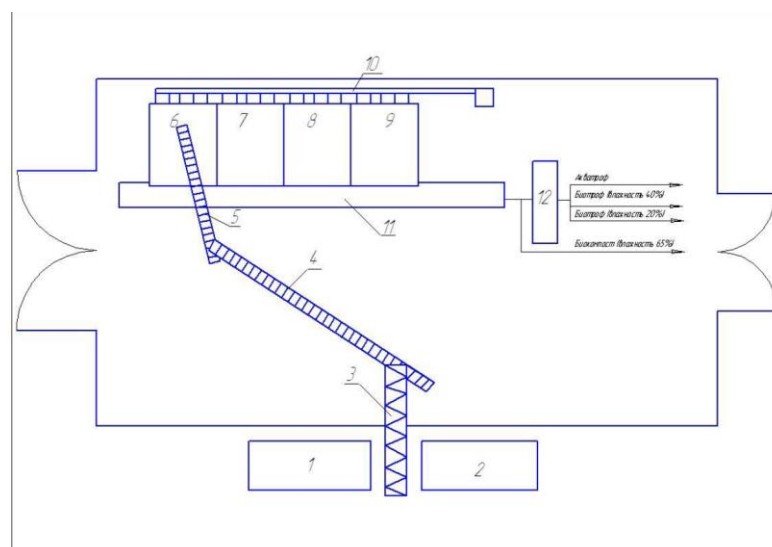


Рис. 2.1. Схема технологічної лінії переробки органічних відходів у біопродукти.

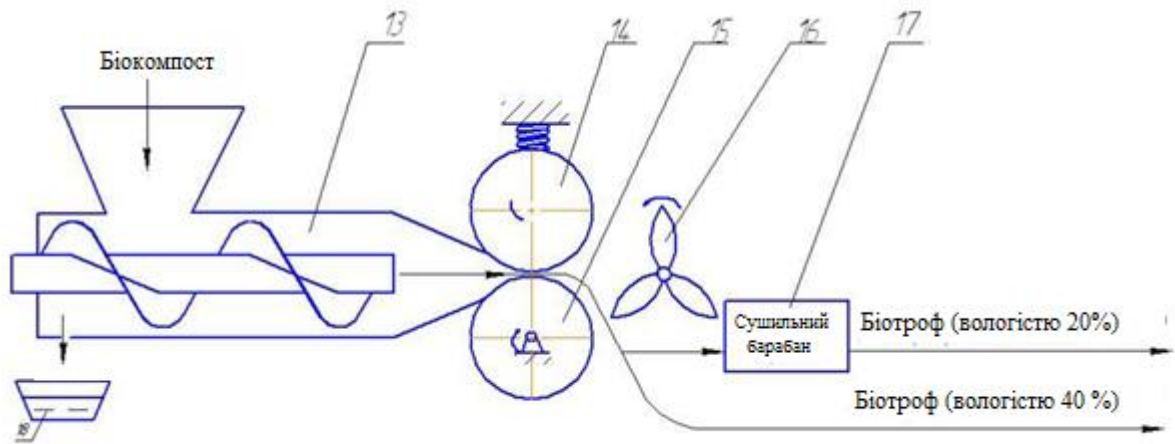


Рис. 2.2. Схема вузла гранулювання.

Блок містить 12 шнековий прес 13 (рис. 2.2), вальці 14, 15, збірну ємність 18, трилопатевий бітер 16, сушильний барабан 17 і працює наступним чином. Через завантажувальний бункер біокомпост (вологість 56...65%) надходить у шнеково-вальцовий прес. У міру проходження біокомпоста через міжвитковий простір шнека відбувається його ущільнення за рахунок зменшення кроку витків, унаслідок чого утворюється рідка фракція (фізична волога), яка через проточки в корпусі акумулюється у збірну ємність 18 і є продуктом аквадрофу. Корпус шнекового преса на виході виконаний у вигляді зрізаного конуса. Проходячи через усічений конус, біокомпост підпресовується і формується вальцями 14, 15. Вальці, обертаючись назустріч один одному, захоплюють матеріал (біокомпост) і ущільнюють його в стрічку за принципом прокатки. Довжина стрічки регулюється за допомогою зміни частоти обертання трилопатевого бітера 16. Отриманий готовий продукт є біотроф у вигляді брикетів, який може направлятися на фасування, а також може бути направлений в сушильний барабан 17 для досягнення вологості 18...22% [3].

3.2 Методика проведення експериментального дослідження на лабораторній установці

Лабораторно-виробничий зразок представляє собою діючий вузол гранулювання, виконаний у натуральну величину, виробничої

експериментальної установки. Вибрана конструкція дозволяє провести експерименти, передбачені методикою, та визначити оптимальні технологічні параметри вузла гранулювання.

На рис. 2.3 представлено схему лабораторно-виробничого зразка вузла гранулювання.

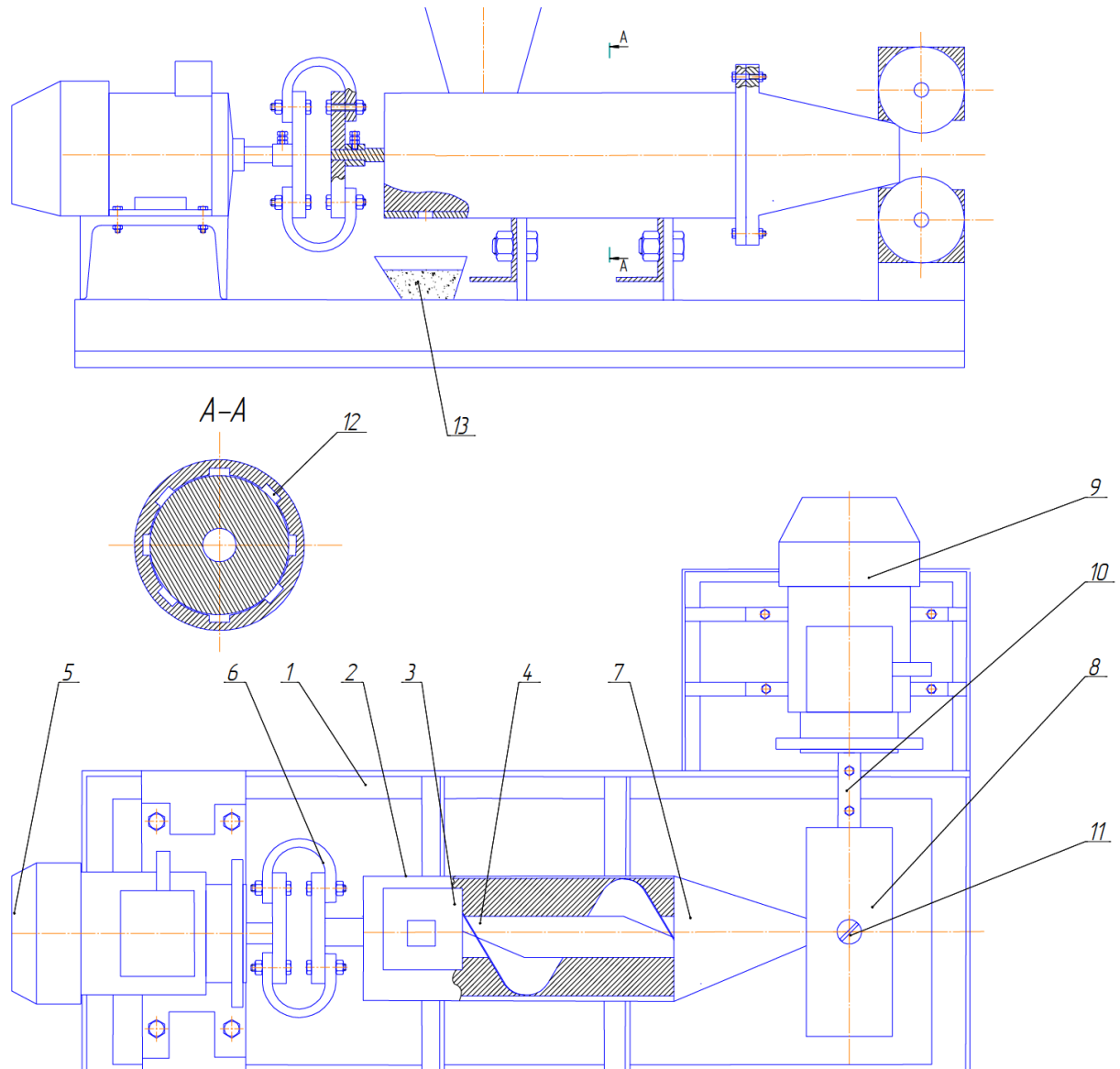


Рис. 2.3. Схема лабораторно-виробничого зразка вузла гранулювання: 1 – рама, 2 – корпус, 3 – завантажувальний бункер, 4 – нагнітальний шнек, 5 – мотор – редуктор, 6, 10 – ремінна муфта, 7 – усічений конус, 8 – вальці, 9 – мотор редуктор, 11 - гвинт регулювальний, 12 - проточки, 13 – збірна ємність.

Вузол проектуємо як конструкцію, що представляє раму 1, на якій вставлений шнековий прес. Прес складається з корпусу 2, бункера завантаження

3 і нагнітального шнека 4, привід нагнітального шнека здійснюється за допомогою мотор-редуктора 5 через ремінну муфту 6. В кінці корпус шнекового преса виконаний у вигляді зрізаного конуса 7, в якому біокомпост підпресовується і формується вальцями 8. Вальці обертаючись назустріч один одному, за допомогою мотор-редуктора 9 через ремінну муфту 10, захоплюють матеріал (біокомпост) і ущільнюють його в гранули (брикети) за принципом прокатки, зазор між вальцями регулюється гвинтом 11.

Лабораторно-виробнича установка була оснащена всіма необхідними приладами та обладнанням для проведення досліджень.

Для контролю за параметрами процесу гранулювання було створено блок управління (рис 3.2).

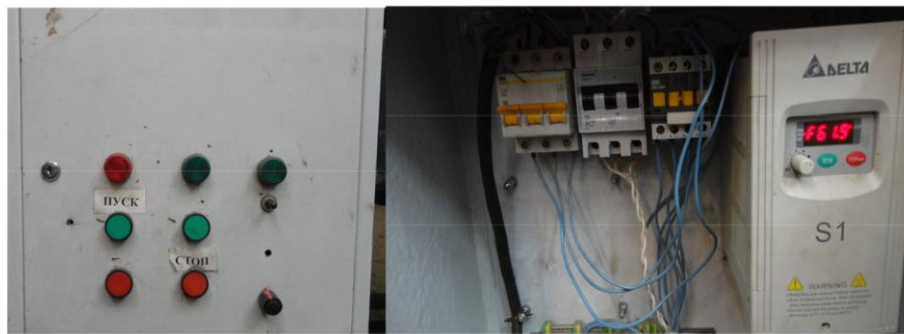


Рис. 2.4. Блок керування приводом вузла гранулювання.

Блок управління оснащений частотним перетворювачем фірми Delta VFD-S, який регулює частоту обертання нагнітального шнека та вальців, що пресують.

Для визначення енергетичних характеристик вузла гранулювання був використаний щитовий ватметр марки СТ 3021 (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Ваттметр СТ3021.

Для визначення фізико-механічних властивостей біокомпоста використовували стабіломер – тривісне стискування (рис. 2.6).



Рис. 2.6. Стабіломір - тривісного стиску.

Склад установки

- пристосування осьового навантаження;
- камера тривісного стискування;
- панель, що здійснює управління тиском, вимірювання тиску та об'ємних деформацій зразка;
- датчик сили для вимірювання осьового навантаження;
- датчик (або кілька датчиків) переміщень для вимірювання осьової (і радіальної) деформації.

Установка забезпечує:

- проведення випробувань в автоматичному або напівавтоматичному режимі;
- центральну передачу осьового навантаження;
- бічне розширення зразка;
- всебічне обтискання зразка тиском повітря чи рідиною;
- додаток вертикального навантаження ступенями або безперервно із заданою швидкістю деформації зсуву;

- подачу рідини до зразка ґрунту знизу або зверху та її відведення;
- вимірювання порового тиску у верхній і нижній частинах зразка;
- вимірювання об'ємних деформацій зразка;
- вимірювання радіальних і локальних осьових деформацій зразка;
- фільтрацію рідини із зразка ґрунту.

Відносну вологість біокомпоста визначали відповідно до ДСТУ із застосуванням сушильної шафи та аналітичних вагів ВЛКТ-160 (рис. 2.7).



Рис. 2.7. Прилади визначення вологості.

Щільність твердої фази визначаємо за допомогою пікнометра – мірної судини (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Пікнометр лабораторний.

Виробничі дослідження лабораторно-виробничої установки проводились у літній період 2022 р. Житомирської області.

Експериментальні дослідження у виробничих умовах передбачають синхронну реєстрацію вхідних та вихідних параметрів процесу гранулювання згідно з розробленими приватними моделями функціонування [57].

На рис. 2.9 зображено загальний вигляд виробничої експериментальної установки.



Рис. 2.9. Загальний вигляд лабораторно-виробничої експериментальної установки.

На рис. 2.10...2.13 зображено деякі елементи виготовленого дослідного зразка вузла гранулювання.

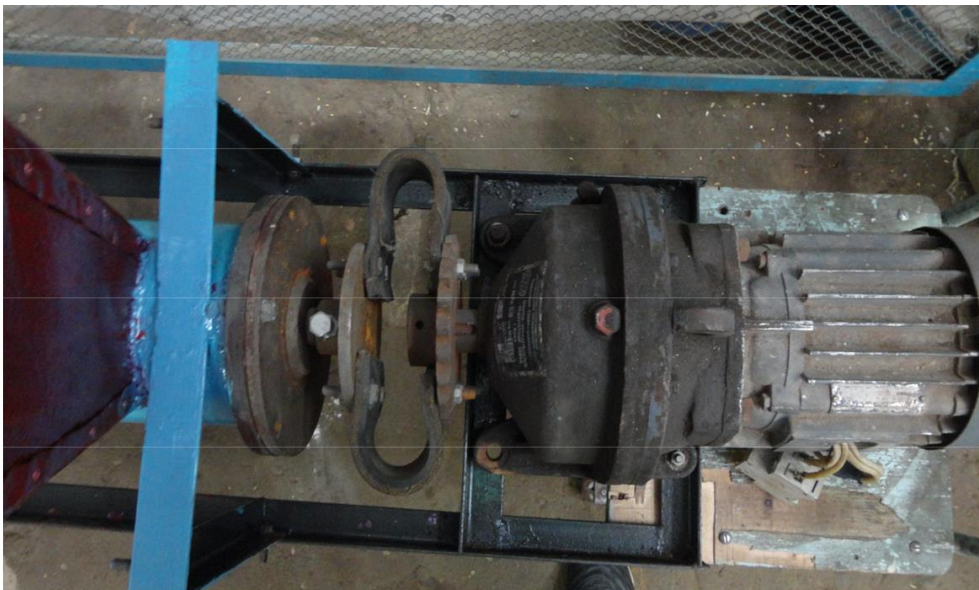


Рис. 2.10. Електродвигун нагнітального шнека



Рис. 2.11. Електродвигун обжимних вальців.

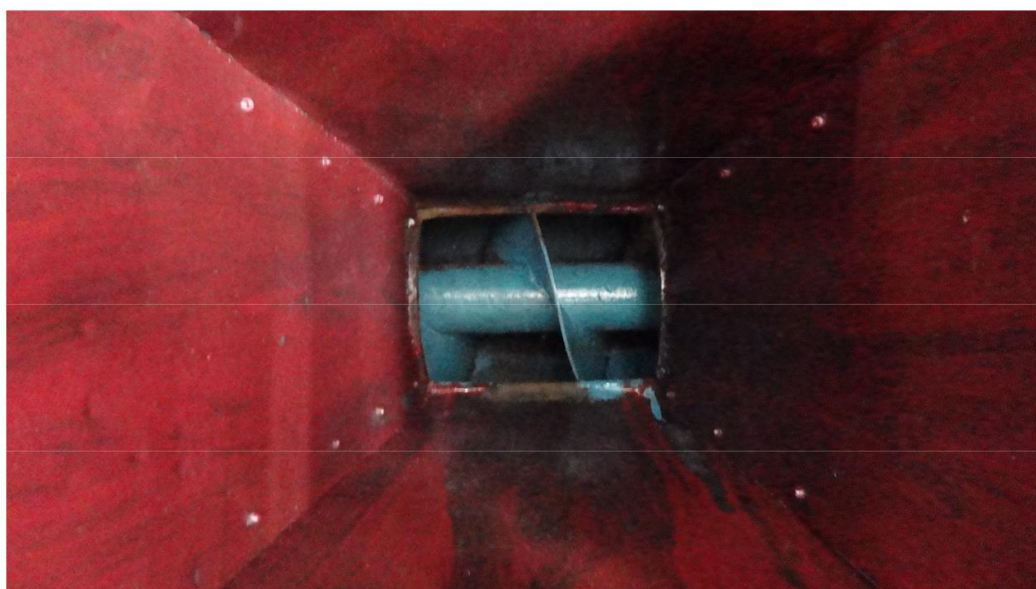


Рис. 2.12. Загальний вигляд нагнітального шнека.



Рис. 2.13. Загальний вигляд нагнітального шнека

Через завантажувальний бункер біокомпост надходить у шнеково-вальцевий прес. У міру проходження біокомпоста через міжвитковий простір шнека відбувається його ущільнення, унаслідок чого утворюється рідка фракція (акватроф), яка через проточки в корпусі акумулюється у збірну ємність. Проходячи через зрізаний конус біокомпост додатково підресовується і формується обтискними вальцями. Вальці, обертаючись назустріч один одному, захоплюють матеріал (біокомпост) і ущільнюють його в стрічку.

Висновок по розділу

В другому розділі магістерської роботи розроблена методика проведення досліджень та представлено обладнання для їх проведення.

РОЗДІЛ 3
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ ВУЗЛА ГРАНУЛЮВАННЯ

3.1. Результати дослідження лабораторної експериментальної установки для гранулювання біокомпостів

При обробці експериментальних даних, отриманих при проведенні експерименту було визначено кут тертя біокомпоста про стінки зрізаного конуса. Результати експерименту наведено у табл. 3.1.

В результаті обробки експериментальних даних за програмою множинного регресійного аналізу (Statgraf) отримано наступне рівняння регресії:

$$\tau=0,163911+0,702882\sigma \quad (3.1)$$

Довірча ймовірність проведених випробувань становила 99% за гарантійної помилки 5%.

Графічне вираження результатів експерименту представлено на рис. 1.

Таблиця 1 - Результати досліджень щодо визначення кута внутрішнього тертя біокомпоста

Нормальне напруження, МПа	Середньоарифметичне значення дотичного напруження, МПа
1	0,98
1,5	1,28
2	1,48
2,5	1,98
3	2,09
3,5	2,68
4	2,98
4,5	3,38
5	3,68

За графіком залежності $\tau=f(\sigma)$ було визначено кут внутрішнього тертя біокомпоста, який склав $\varphi=35^\circ$.

З урахуванням даного показника буде сформовано кут нахилу конічної частини каналу до горизонталі.

Обробку експериментальних даних проводили на персональному комп'ютерс програмами EXCEL, STATGRAPHICS Plus 2.1.

Визначення залежності бічного тиску від тиску пресування проводилися у з трьоразовою повторністю. Довірча ймовірність проведених випробувань становила 99% при гарантійній помилці 5%.

У табл. 2. представлені значення тиску пресування σ_z з кроком навантаження 0,5 МПа та значення бічного тиску σ_x .

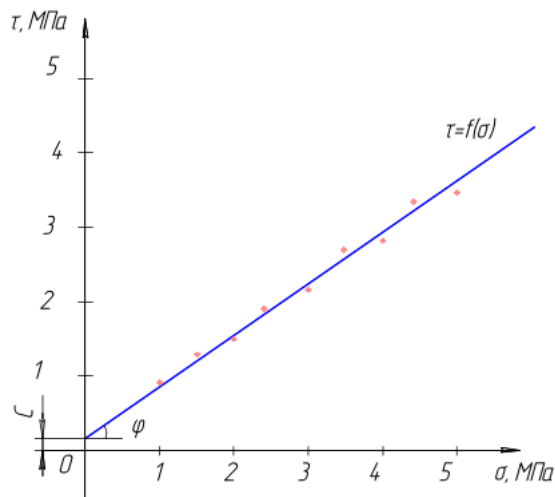


Рис. 3.1. Графік залежності дотичного напруження від нормального.

В результаті обробки експериментальних даних за програмою множинного регресійного аналізу (Statgraf) отримано наступне рівняння регресії:

$$\sigma_z = 0,287301 + 1,00155 \sigma_x \quad (2)$$

Графічне вираження результатів експерименту представлено на рис. 2.

Характер графіка показує, що збільшенням тиску пресування веде до збільшення бічного тиску.

Обробку експериментальних даних проводили на ЕОМ типу IBM PC за допомогою програм EXCEL, STATGRAPHICS Plus 2.1.

Таблиця 3.2 – Результати досліджень залежності бічного тиску від тиску пресування

Нормальне напруження, МПа	Середньоарифметичне значення бокового тиску, МПа
1	0,97
1,5	1,27
2	1,47
2,5	1,97
3	2,08
3,5	2,69
4	2,97
4,5	3,37
5	3,67

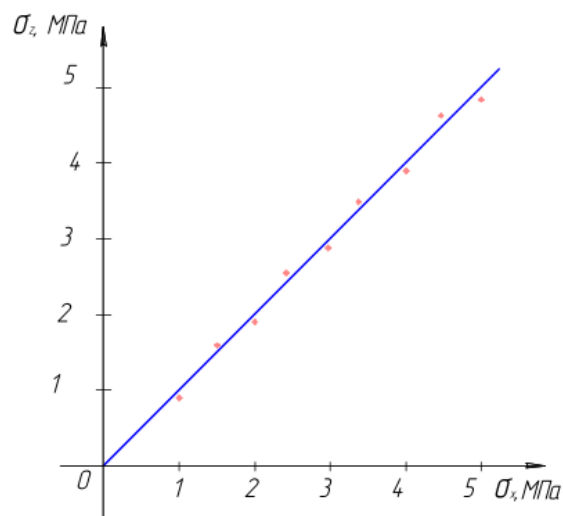


Рис. 3.2. Графік залежності бічного тиску від тиску пресування.

3.2. Результати лабораторного дослідження впливу частоти обертання та кроку шнека у зоні стиску на вологість.

Відповідно до розробленої методики проведено активний лабораторний експеримент з визначення залежності впливу частоти обертання $n_{ш}$ і кроку

шнека в зоні стиснення t зміна вологості $W_{вих}$. Після кожного проведеного дослідження відбиралися три проби, у яких визначалася вологість.

Поверхня відгуку вологості та її проєкції, залежно від частоти обертання шнека та кроку шнека в зоні стиску представлені на рисунках 3.3 - 3.4. Значення параметрів $n_{ш.}$ та t на графіках представлені у розкодованому вигляді.

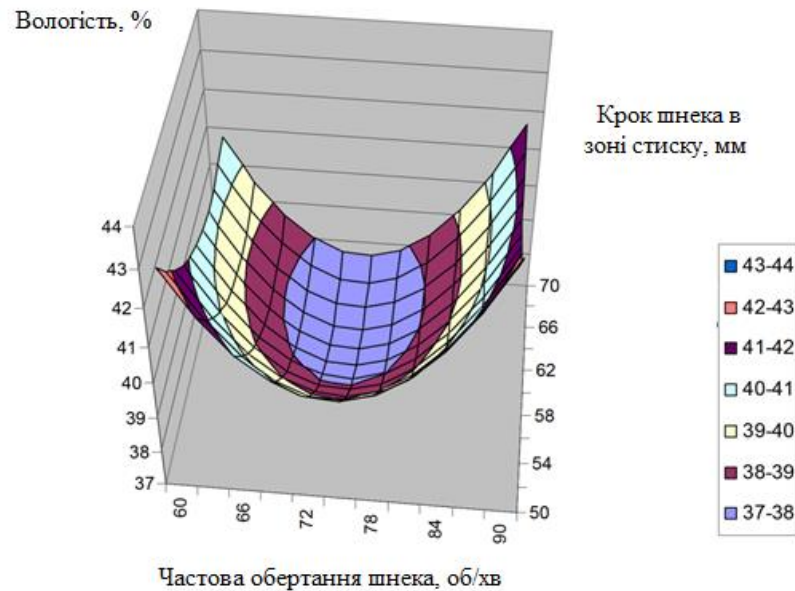


Рис. 3.3. Поверхня відгуку, що показує вплив частоти обертання та кроку шнека у зоні стиснення на вологість.

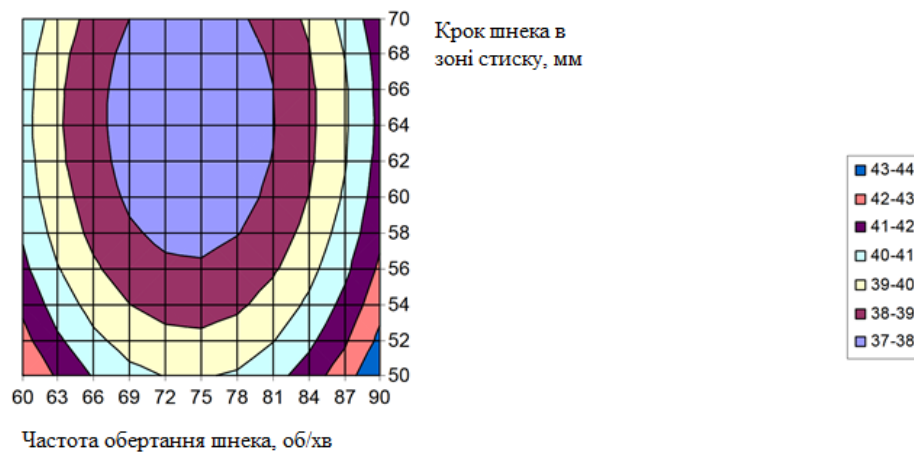


Рис. 3.4. Проекція поверхні відгуку на площину $n_{ш.}$: t .

Аналізуючи дані графіки отримані в результаті проведення експерименту можна зробити висновок про оптимальні керуючі фактори, такі як частота обертання шнека $n_{ш.}$, крок шнека в зоні стиснення t для найбільшого зниження вологості.

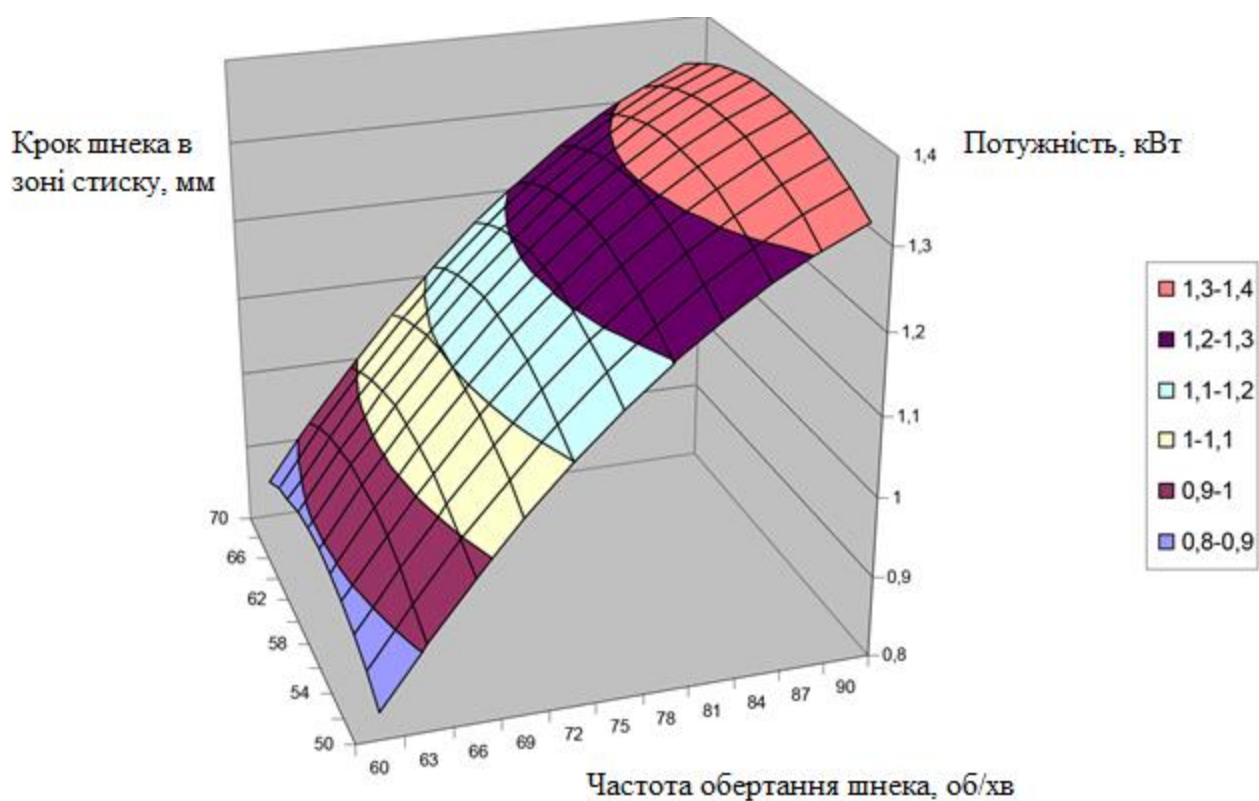


Рис. 3.5. Поверхня відгуку, що показує вплив частоти обертання та кроку шнека в зоні стиску на потужність приводу шнека.

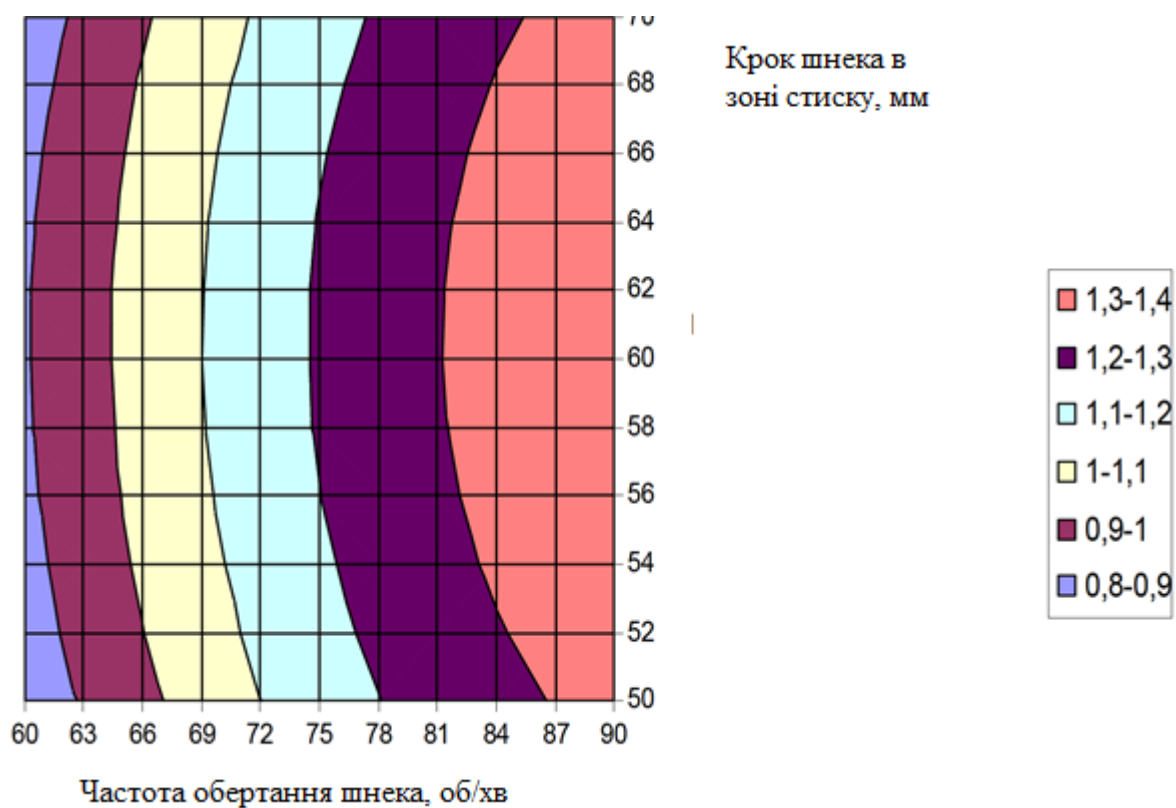


Рис. 3.6. Проекція поверхні відгуку на щільність $n_{ш} \cdot t$.

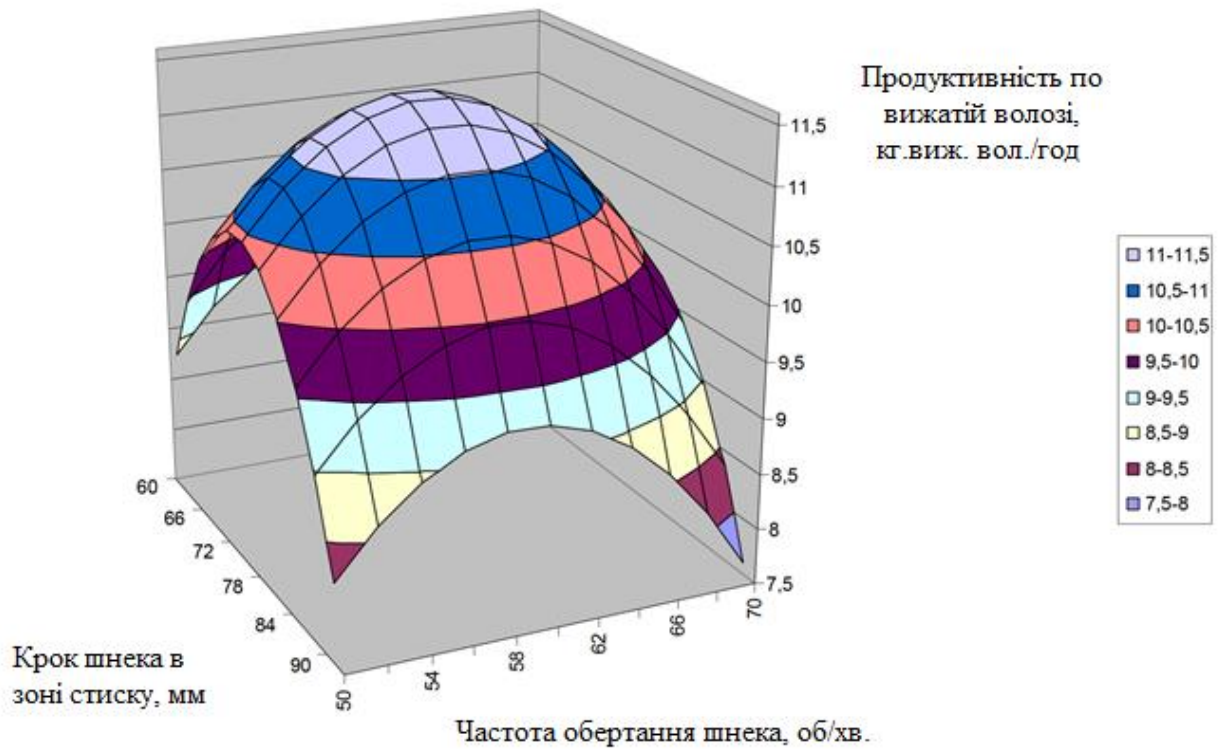


Рис. 3.7. Поверхня відгуку, що показує вплив частоти обертання та кроку шнека в зоні стиснення на продуктивність по видаленій волозі.

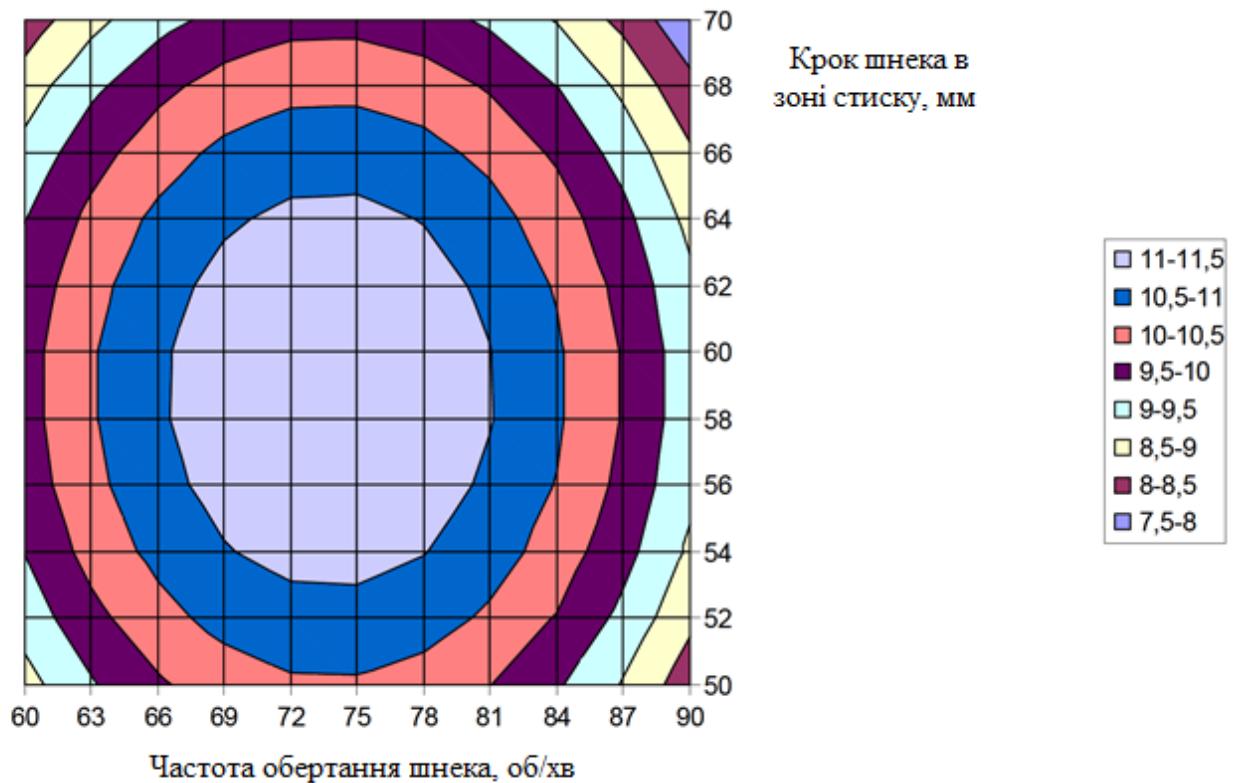


Рис. 3.8. Проекція поверхні відгуку площину $n_{ш.}: t$.

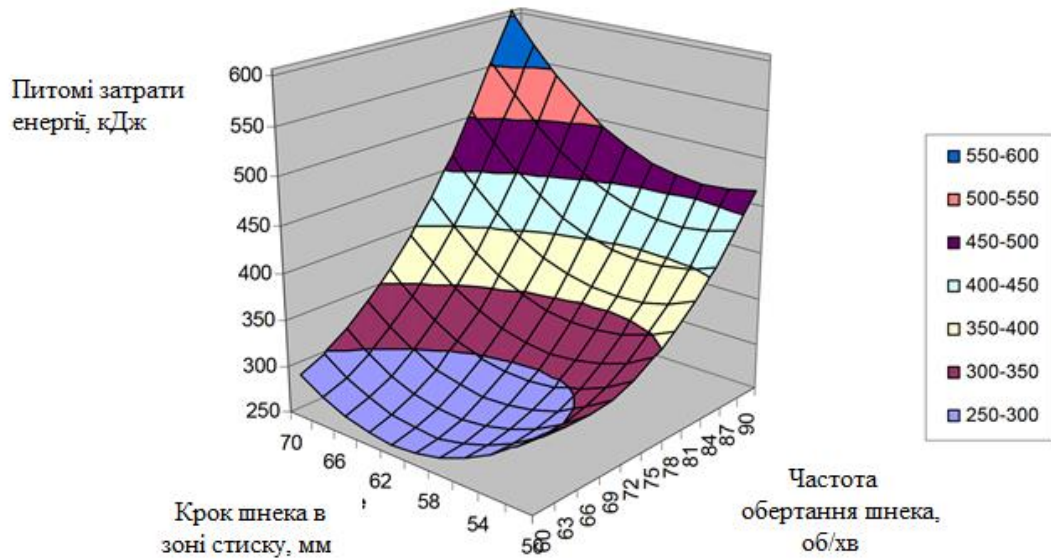


Рис. 4.9. Поверхня відгуку, що показує вплив частоти обертання та кроку шнека у зоні стискування витрати питомої енергії на видалення одного кілограма ВОЛОГИ.

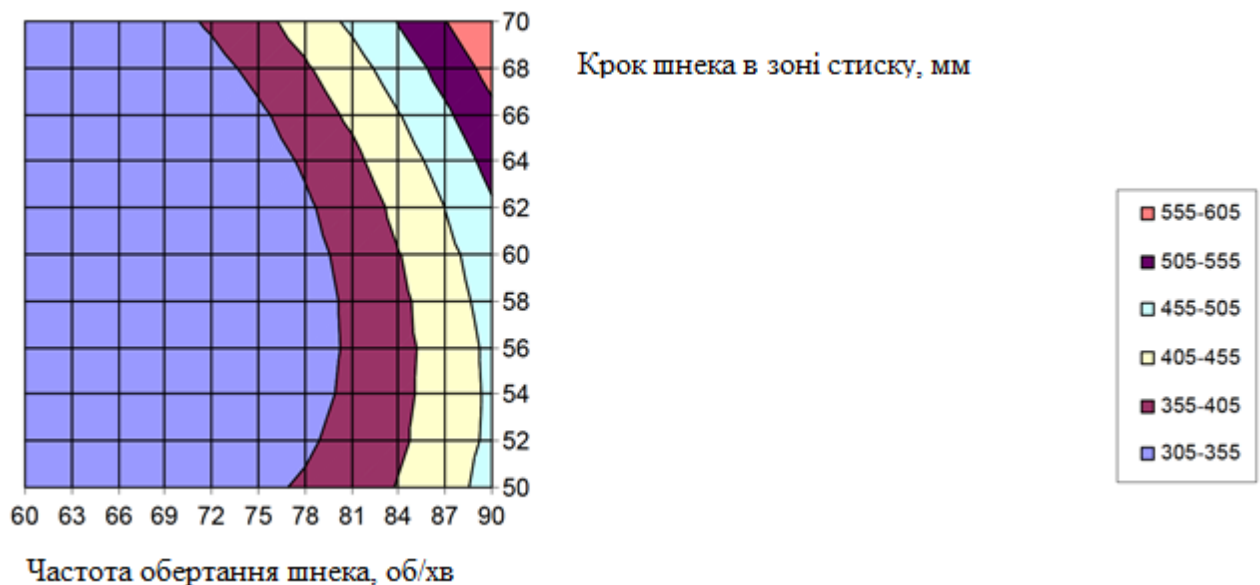


Рис. 3.10. Проекція поверхні відгуку площину $n_{ш.}: t$

3.2. Результати лабораторного дослідження впливу частоти обертання та зазору між вальцями на щільність одержуваних гранул.

Відповідно до розробленої методики, проведено лабораторний експеримент з визначення залежності впливу частоти обертання вальців $n_{в.}$ і

зазору вальців h на щільність гранул $\rho_{\text{вих}}$. Після кожного проведеного досліду відбиралися три проби, які визначали щільність і потужність приводу вальців.

Поверхня відгуку щільності одержуваних гранул (брикетів) та її проекції, залежно від частоти обертання та зазору вальців, представлені на рис. 3.11-3.12. Значення параметрів n_v і h на графіках представлені у розкодованому вигляді

Аналізуючи дані графіка, отриманий в результаті проведення експерименту, можна зробити висновок про оптимальні керуючі параметри, для отримання найбільшого значення щільності гранул (брикетів).

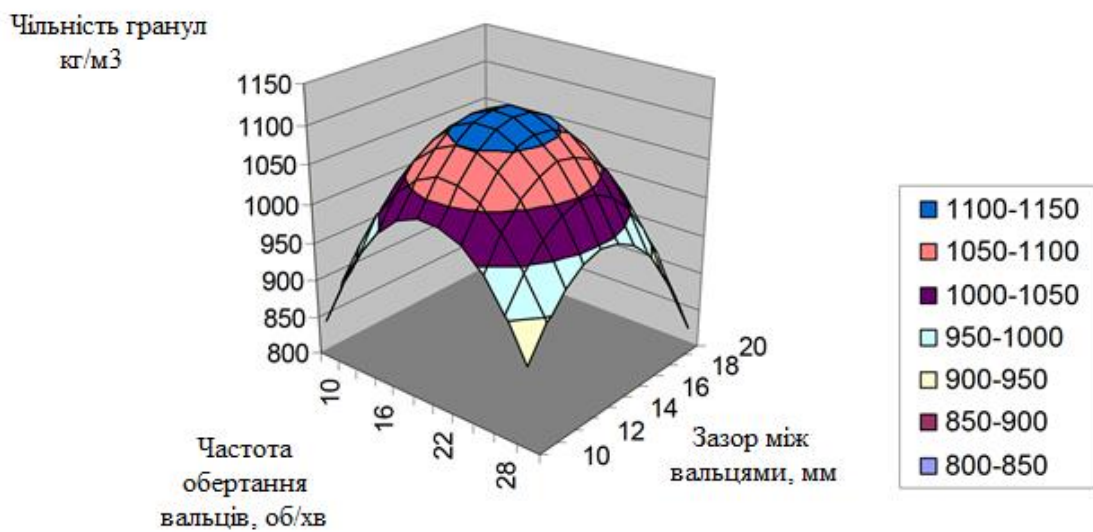


Рис. 3.11. Поверхня відгуку, що показує вплив частоти обертання та зазору вальців на щільність одержуваних гранул.

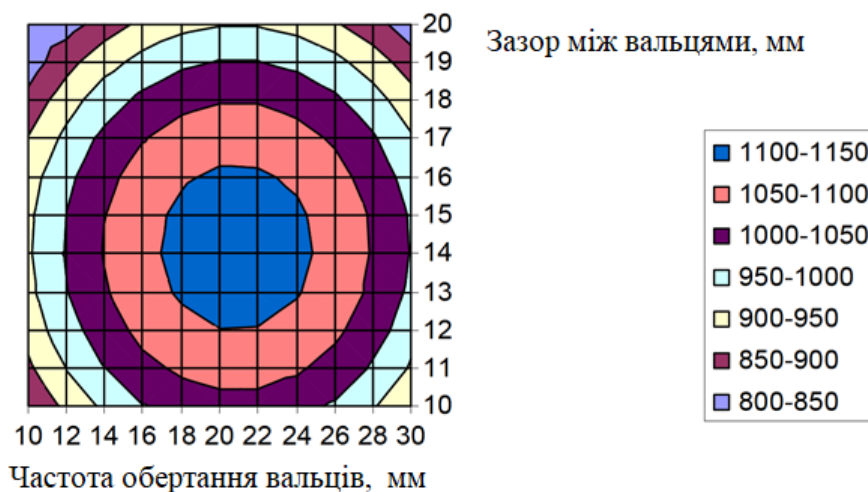


Рис. 3.12. Проекція поверхні відгуку площину n_v : h .

Аналіз графічних залежностей показує, що у величину потужності приводу вальців, найбільше впливає частота обертання $n_{ш}$.

Дисперсійний аналіз рівняння регресії показує, що модель інформаційно здатна, оскільки коефіцієнт детермінації параметра $N_{в.}$ досить великий R – квадрат дорівнює 99,24%.

Поверхня відгуку потужності приводу вальців та її проекції, залежно від параметрів, що управляють представлені на рис 3.13 – 3.14. Значення параметрів $n_{в.}$ та h на графіках представлені у розкодованому вигляді.

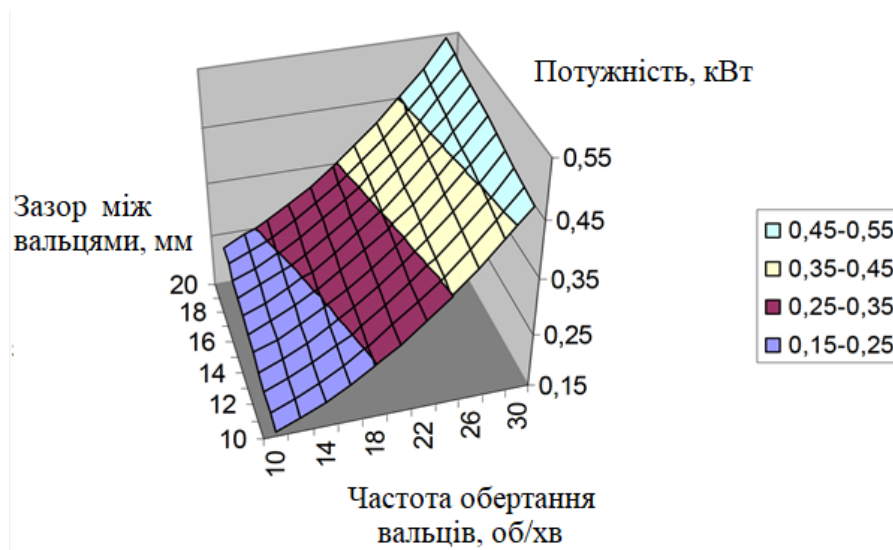


Рис. 3.13. Поверхня відгуку, що показує вплив частоти обертання та зазору вальців на потужність приводу вальців.

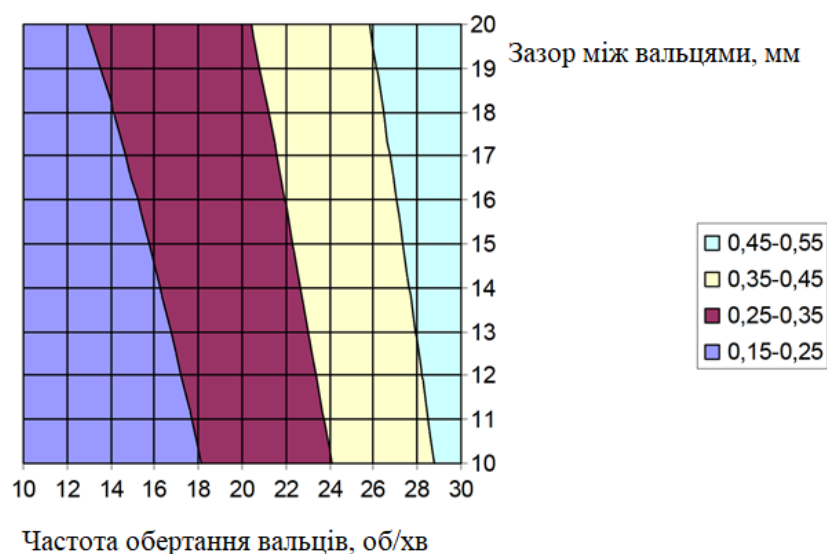


Рис. 3.14. Проекція поверхні відгуку площину $n_{в.}: h$.

При оптимальних параметрах управління значення потужності приводу вальців становить 0,3 кВт.

Під час проведення досліджень на експериментальній установці в умовах виробництва згідно з методикою викладеною в розділі 2 отримані такі основні технологічні параметри: частота обертання нагнітального шнека 72 об/хв; крок шнека у зоні стиснення 57 мм.; частота обертання вальців 21 об/хв; зазор між вальцями 14 мм; продуктивність по видаленій волозі 11,5 кг/год; продуктивність 57 кг/год.; питомі витрати енергії на видалення 1 кг. вологи 378 кДж; енергоспоживання на одиницю маси отриманого продукту – 0,023 кВт год/кг.

Випробування проводилися у триразовій повторності. За час проведення випробувань було відзначено одну відмову, причинами якої стала недостатня міцність зварного шва нагнітального шнека. Час усунення відмови становив 30 хв.

Висновки по розділу

В результаті проведення експериментів отримані статичні залежності вологості біокомпоста, щільності гранул (брикетів), потужності на привід нагнітального шнека і вальців, продуктивності, питомих витрат енергії.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті проведеного аналізу існуючих методів та технічних засобів з гранулювання добрив виявлено основні недоліки вузлів гранулювання. У зв'язку з цим було розроблено конструктивно-технологічну схему та виготовлено вузол гранулювання. Обґрунтовано раціональні конструктивно-технологічні параметри розробленого вузла гранулювання: частота обертання нагнітального шнека $n_{\text{шн.}}=72$ об/хв., крок шнека в зоні стиснення $t=57$ мм.

За даними виробничих випробувань лабораторно–виробничого зразка вузла гранулювання: продуктивність по видаленій волозі 11,5 кг/год, питомі витрати енергії на видалення 1 кг. вологи 378 кДж., продуктивність біотрофу 57 кг/год.; енергоспоживання на одиницю маси отриманого продукту – 0,023 кВт год/кг.

Встановлено, що використання вузла гранулювання технологічної лінії з виробництва біокомпостів дозволяє: скоротити витрати на зберігання на 37% та витрати на транспортування на 53%; збільшити асортимент продукції, що випускається.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Классен П.В. Основы техники гранулирования. Москва : Химия, 1982. 272 с.
2. Классен, П.В. Основные процессы технологий минеральных удобрений. Москва : Химия, 1990. 304 с.
3. Кочетков, В.Н. Гранулирование минеральных удобрений. Москва : Химия, 1976. 256 с.
4. Казакова Е. А. Гранулирование и охлаждение азотсодержащих удобрений. Москва : Химия, 1980. 288 с.\
5. Кошак, Ж. Исследование энергоемкости процесса гранулирования при производстве комбикорма для птицы. Агропанорама. 2013. № 2. С. 28-30.
6. Біотехнологічний захист та охорона навколишнього середовища: Навчальний посібник. Харків : «Технологічний центр», 2016. 218 с.
7. Пирог Т.П., Ігнатова О.А. Загальна біотехнологія: Підручник. Київ : НУХТ, 2009. 336 с.
8. Корнієнко Я. М., Сачок Р. В. Процес гранулоутворення мінеральногумінових добрив. Монографія. Київ : НТУУ «КПІ». 2014. 158 с.
9. Ульєв Л.М. Ламінарні течії в соусних конічних каналах: Монографія в 2-х т.; Під ред.. Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО. –Т. 1. –Харків: НТУ «ХПІ», 2006 .-660 с
10. Kurabayasi T. Atomization of liquids by means of a rotating nozzle. 1-st report. Experimental analysis of the mechanism of atomization. 2-nd report. Effect of liquil jets. Trans. Japan Soc. Mech. Tngrsll, 1990, vol.25,No 160, 1252-1273.
11. Shingareva, I., Solving nonlinear partial differential equations with Maple and Mathemati. Springer Wien New York. 2011. 359 p.
12. Якушко С. І., Яхненко С. М. Установка комплексної переробки органічних відходів за енергозберігаючою технологією. Вісник “СумДу”. 2006. С. 81-84.

13. Бортник Р. О. Результати дослідження лабораторної експериментальної установки для гранулювання біокомпостів. Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ – 2022» 20 травня 2022 року Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 10-12.

14. Кухарець С. М., Бортник Р. О. Аналіз методів виробництва гранульованих добрив. *Збірник тез доповідей XXIII Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (16–18 жовтня 2022 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Житомир. 2022. С. 298-300.

15. Бортник Р.О. Аналіз конструктивно-технічних рішень пресуючих пристроїв. *Збірник тез VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 31 березня 2021 року, м. Житомир. С. 251-253.