

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

ГАВРАН ВОЛОДИМИР БОГДАНОВИЧ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису
УДК 004.94+004.048+004.41

**Smart технології автоматизації процесу
витискання олії шнековим пресом**

122 – комп’ютерні науки

**Дисертація на здобуття наукового ступеня
доктора філософії**

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

_____ /В. Б. Гавран/

Наукові керівники:
Лобур Михайло Васильович
доктор технічних наук, професор
Сітек Войцех
доктор технічних наук, професор

Львів - 2024

АНОТАЦІЯ

Гавран В. Б. Smart технології автоматизації процесу витискання олії шнековим пресом. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 “Комп’ютерні науки”. – Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, 2024.

У дисертаційній роботі розв’язано актуальне науково-прикладне завдання у галузі комп’ютерних наук – розроблення модернізованої системи керування преса для забезпечення можливості його автоматизованого функціонування із різними типами олієвмісних культур шляхом упровадження низки контрольно-вимірювальних пристроїв і програмованого контролера.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літературних джерел та додатків.

У першому розділі «Огляд інформаційних джерел за тематикою дисертації» розглянуто властивості рослинних олій та сфери їхнього застосування. Описано значення рослинної олії в харчовій промисловості і кулінарії, косметичній, фармацевтичній промисловості, та промислового виробництва.

Визначено вимоги до рослинної олії в кожній із зазначених галузей промисловості. З’ясовано, що у харчовій промисловості важливі смакові якості та склад корисних компонентів, у косметології - вміст вітамінів та антиоксидантів, у фармацевтиці - чистота та вміст активних речовин. Промисловість же сфокусована на енергетичних характеристиках та в’язкості. Для забезпечення необхідного рівня якості має бути правильно підібрана технологія та параметри витискання олії.

Описано сучасні технології виробництва рослинних олій, проаналізовано особливості процесу витискання олії такими методами як: механічна та хімічна екстракція, екстракція за допомогою надкритичної рідини, дистиляція з водяною парою. Визначено переваги та недоліки кожної з технологій.

Розглянуто конструктивні і функціональні особливості обладнання для виробництва олій. Описано конструкції гідравлічного, шнекового, стрічкового, вальцьового пресів та декантерної центрифуги.

Проаналізовано можливі напрямки автоматизації процесу пресування олії за допомогою шнекового преса, що полягають у застосуванні інноваційних smart рішень. Визначено, що впровадження автоматизованих smart систем моніторингу, контролю, керування та регулювання сприятиме підвищенню ефективності виробництва, зменшенню витрат і покращенню якості продукції і безпеки процесу.

Визначено мету дослідження, що полягає в автоматизації процесу витискання олії з різноманітних олієвмісних рослинних культур з використанням шнекового пресового обладнання шляхом обґрунтування smart-системи керування. Встановлено перелік завдань, виконання яких забезпечить досягнення поставленої мети.

У другому розділі увагу зосереджено на розгляді технічних характеристик шнекового пресу та можливостей автоматизації його роботи. Детальніше проаналізовано процес smart пресування за допомогою шнекового пресу, а також описано різні види пресів: форпреси та експелери, одношнекові і двошнекові преси. Вибір типу пресу буде залежати від характеристик сировини, масштабів виробництва, бюджету і вимог до якості олії.

Огляд конструкції малогабаритного шнекового преса LiangTai LTP200 та побудова на його основі тривимірної моделі надали розширене розуміння його функціональності та потенційних напрямків оптимізації та автоматизації його роботи.

Встановлено перелік керованих критеріїв, які визначають ефективність роботи пресу та витискання олії, серед яких: частота обертання шнека, температура камери пресування, температура та маса витисненої олії, температура та напруга електродвигуна, споживаний струм. Smart система

керування повинна забезпечувати різні технологічні параметри відповідно до різновиду сировини.

Обґрунтовано алгоритм роботи запропонованої системи керування на побудовано на основі цього блок-схему процесу. Розроблено також функціональну схему системи керування, що складається з: мікроконтролера Arduino Mega 2560 R3, перемикачів для ручного запуску системи та налаштування контрольованих параметрів, блоку живлення 36W 12V OV-R12-3A, DC/DC адаптера XL6009, драйвера MX1508, дисплея, набору датчиків для постійного моніторингу робочих параметрів, плати Arduino Nano V3.0 та перетворювача частоти CFM210.

Третій розділ «Математичне та імітаційне моделювання роботи преса» присвячений розробленню математичної моделі з метою аналізу різних експлуатаційних параметрів преса. Виведено аналітичні залежності для розрахунку продуктивності преса, тиску у прикінцевій камері витискання макухи та корисної потужності, яка затрачається в процесі витискання олії.

Проведено математичне моделювання залежностей зазначених експлуатаційних характеристик smart шнекового преса від його конструктивних та функціональних параметрів, зокрема від кутової швидкості (частоти обертання) шнека та кроку витків. Моделювання було проведено у програмному продукті Wolfram Mathematica.

Встановлено, що зміна частоти обертання шнека від 30 об/хв до 90 об/хв (у три рази) спричинила відповідне збільшення продуктивності преса приблизно втричі. Моделювання тиску оброблюваного матеріалу в камері пресування за різних кутових швидкостей шнека і кроків витків дозволило встановити що при збільшенні кроку витків і частоти обертання, збільшується також тиск в камері пресування. Збільшення кроку витків та кутової швидкості також призводить до збільшення споживаної потужності.

Проведено аналіз напружено-деформованого стану шнекового валу за допомогою методу скінченних елементів, із використанням програми SolidWorks. У результаті доведено, що максимальні напруження

концентруються в областях приєднання гвинтового витка до валу шнека. Межа текучості матеріалу шнека є у 2-3 рази більша, ніж змодельовані максимальні напруження. Результати дослідження можуть мати практичне застосування для вдосконалення механічних систем шнекових пресів.

Розроблено принципову електричну схему smart шнекового преса, а також проведено імітаційне моделювання його роботи у програмному продукті Tinkercad, що дозволило обґрунтувати працездатність та доцільність запропонованої у попередньому розділі системи керування.

У четвертому розділі «Експериментальні дослідження автоматизованого процесу витискання олії» представлено дослідний зразок модернізованого шнекового преса із системою керування. За допомогою датчиків система зчитує інформацію про поточний стан преса, і адаптує параметри роботи відповідно до отриманої інформації і заданої логіки.

Аналіз впливу температурних параметрів на продуктивність пресу відображає важливість контролю умов роботи пресу для досягнення оптимальних результатів та забезпечення стабільності роботи обладнання. Температура витисненої олії істотно впливає на її якісні та смакові характеристики.

Дослідження впливу умов завантаження шнекового преса на споживаний струм його приводу має на меті визначити оптимальні параметри експлуатації для забезпечення енергоефективності та економії ресурсів. В процесі отриманих результатів, досліджено що найбільш енергоефективна робота шнекового преса може бути забезпечена в умовах його повного навантаження.

Описано перспективи практичного впровадження системи керування і smart технологій у різноманітному пресувальному обладнанні. Запропонована система керування дозволяє оптимально використовувати обладнання в залежності від температури, типу рослинного насіння, струму, напруги, а також її застосування може бути розширено на виробничі масштаби та на інші види пресувального обладнання.

Подальше удосконалення системи керування шнекового преса полягає у контролі навантаження та рівня заповнення шнекового пресу за допомогою використання моделей машинного навчання, що здатні розпізнати звукові сигнали та зображення.

Ключові слова: Arduino, система керування, пресувальне обладнання, машинне навчання, комп'ютерний зір, чисельне моделювання, імітаційне моделювання, експлуатаційні характеристики, напружено деформований стан, продуктивність, споживаний струм.

ABSTRACT

Havran V.B Smart technologies for automating oil extraction process with the screw press. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis paper for achievement of the scientific degree Doctor of Philosophy in the specialty 122 «Computer Science». – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2024.

The thesis paper solved the relevant scientific and applied task in the sphere of computer science – the development of a modernized press control system. This system enables automated operation with various types of oil crops, facilitated by the introduction of assorted control and measuring devices and a programmable controller..

The thesis paper consists of introduction, four chapters, conclusions, list of references and appendixes.

In the first chapter "Overview of information sources on the topic of the thesis paper" the properties of vegetable oils and their application areas are examined. The significance of oils in the food industry, cosmetics, pharmaceutical industry, and industrial production is detailed.

Quality standards for vegetable oil in each of the mentioned branches of industry have been established. It has been determined that in the food industry, taste qualities and the composition of nutritional components are important. In cosmetology, the content of vitamins and antioxidants is significant, while in pharmaceuticals, the purity and content of active substances are crucial. The industry focuses on energy characteristics and viscosity. To ensure the required level of quality, the technology and parameters of oil extraction must be appropriately selected.

Modern technologies for vegetable oil production are described, analyzing the peculiarities of the oil extraction process through methods such as mechanical and chemical extraction, supercritical fluid extraction, and steam distillation. The advantages and disadvantages of each technology have been determined.

The structural and functional features of equipment used in oil production are examined. This includes the designs of hydraulic, screw, belt, roller presses and decanter centrifuges.

Potential directions for automating the oil-pressing process with a screw press were analyzed, particularly with the application of innovative smart solutions. It was determined that implementing automated systems for monitoring, control, management, and regulation can enhance production efficiency, reduce costs, and improve both product quality and process safety.

The research objective has been defined: it involves automating the process of squeezing oil from various oil crops using screw press equipment, supported by a substantiated smart control system. A list of tasks necessary to achieve this goal has been established.

In the second chapter “Justification of the operating logic and development of the screw press control system” attention is focused on examining the technical characteristics of the screw press and the possibilities for automating its operation. The pressing process using a press is discussed in detail and various presses designs are described, including prepresses, expellers, single-screw, and double-screw presses. The choice of press type depends on raw material characteristics, production scale, budget, and oil quality requirements.

A review of the LiangTai LTP200 small screw press design, supplemented by the construction of a three-dimensional model based on it, provided a deeper understanding of its functionality and potential avenues for optimization and automation of its operation.

A list of controlled criteria was established, determining the efficiency of the press and oil extraction. These criteria include the screw rotation frequency, pressing chamber temperature, temperature and mass of the pressed oil, and the temperature, voltage, and current consumption of the electric motor. The smart control system should adjust various technological parameters according to the type of raw material.

The operation algorithm of the proposed control system, which is based on the block diagram of the process, is justified. A functional diagram of the control system

has also been developed. It consists of an Arduino Mega 2560 R3 microcontroller, switches for manual system initiation and setting controlled parameters, a 36W 12V OV-R12-3A power supply, an XL6009 DC/DC adapter, an MX1508 driver, a display, a set of sensors for continuous monitoring of operating parameters, the Arduino Nano V3.0 board, and the CFM210 frequency converter.

The third chapter "Mathematical and simulation modeling of press operation" is devoted to the development of a mathematical model to analyze various press operating parameters. Analytical equations are derived to calculate press productivity, pressure in the pressing chamber of, and the useful power consumed during the oil extraction process.

Mathematical modeling was conducted to determine the dependencies of the specified operational characteristics of the smart screw press on its structural and functional parameters, specifically the angular speed (rotational frequency) of the screw and the pitch of turns. The simulation was performed using the software product Wolfram Mathematica.

It was determined that increasing the screw speed from 30 rpm to 90 rpm correspondingly tripled press productivity. By modeling the pressure of the processed material in the pressing chamber at different angular velocities of the screw and pitches of turns, it was established that pressure in the pressing chamber increased with the rise in pitch of turns and rotation frequency. An increase in the pitch of turns and angular speed also resulted in higher power consumption.

The stress-strain state of the screw shaft was analyzed using the SolidWorks program and the finite element method. The results proved that the maximum stresses are concentrated where the screw coil attaches to the screw shaft. The yield strength of the screw material is 2-3 times higher than the simulated maximum stresses. This research can have practical applications for improving the mechanical systems of screw presses.

The principal electrical scheme for the smart screw press was developed. Additionally, simulation modeling of its operation was carried out in the Tinkercad

software product. This helped substantiate the operability and feasibility of the control system proposed in the previous section.

The fourth chapter "Experimental study of the automated oil extraction process" presents an experimental sample of a modernized screw press equipped with a control system. The system uses sensors to read the current state of the press and adjusts operating parameters based on received information and predefined logic.

The analysis of the impact of temperature parameters on press productivity highlights the importance of controlling press operating conditions to achieve optimal results and maintain equipment stability. The temperature of the expelled oil significantly influences its quality and flavor characteristics.

A study on how the loading conditions of the screw press affect the current consumption of its drive was conducted to determine the optimal operating parameters for energy efficiency and resource conservation. The results revealed that the most energy-efficient operation of the screw press can be achieved under full load conditions.

The prospects for practical implementation of the control system and smart technologies in diverse pressing equipment are discussed. The proposed control system enables optimal equipment use based on temperature, plant seed type, current, and voltage. Its application can be expanded to production scales and other types of pressing equipment.

Further enhancements to the screw press control system involve controlling the load and fill level of the screw press using machine learning models capable of recognizing audio signals and images.

Keywords: Arduino, control system, pressing equipment, machine learning, computer vision, numerical modeling, simulation modeling, performance characteristics, stress-strain state, productivity, current consumption.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Korendiy, V., & Havran, V. (2024). Analysis of the oil extraction process and prospects of automation of screw press operation. Scientific Bulletin of UNFU, 34(1), 85-90. <https://doi.org/10.36930/40340112>
2. Havran V. (2024). Determining the weight of oil extracted with a screw press using a strain gauge sensor, HX711 module, and Arduino, Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 331(1), 73-76. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-12>
3. Korendiy, V., & Havran, V. (2024). Defining the influence of the screw press loading conditions on the consumed current of its drive with the use of Arduino microcontroller. Scientific Bulletin of UNFU, 34(2), 94-100. <https://doi.org/10.36930/40340212>
4. Havran V., & Orynychak M. (2024). Utilization of computer vision and machine learning for applied engineering: data analysis and recognition, Technol. Eng., vol. 1, no. 1, pp. 17–24. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.1.2>
5. Havran, V. & Lobur M. (2024). Determination of hopper fullness of smart screw press using machine learning. Computer Design Systems. Theory and Practice, 6(1), 161-168. <https://doi.org/10.23939/cds2024.01.161>
6. Havran V. (2023). Analysis of Arduino mega controller usage for the oil screw press, Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 329(6), 33-37. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2023-329-6-33-37>
7. Kachur, O., Korendiy, V., & Havran, V. (2023). Designing and simulation of an enhanced screw-type press for vegetable oil production. Computer Design Systems. Theory and Practice, 5(1), 128–136. <https://doi.org/10.23939/cds2023.01.128>
8. Melnyk, M., Pytel, K., Orynychak, M., Tomyuk, V., Havran. V. (2022). Analysis of Artificial Intelligence Methods for Rail Transport Traffic Noise

Матеріали конференцій:

9. Havran V., Orynychak M. Investigation and implementation of Jenkins pipelines into Raspberry Pi for automated control units // Education and science of today: intersectoral issues and development of sciences: proceedings of the III International scientific and practical conference, May 20, 2022, Cambridge, United Kingdom;
10. Lobur M., Tomyuk V., Havran V. Analysis of automated block units for smart oil pressure system // САПР у проектуванні машин. Питання впровадження та навчання : матеріали XXX Міжнародної польсько-української науково-технічної конференції (Львів, Україна, 1–2 грудня 2022 р.);
11. Lobur M., Havran V., Melnyk M., Tomyuk V. Automation of the process of the oil pressing press using the lab-wiew system // САПР у проектуванні машин. Питання впровадження та навчання : матеріали XXX Міжнародної польсько-української науково-технічної конференції (Львів, Україна, 1–2 грудня 2022 р.);
12. Korendiy V., Kachur O., Havran V. Design peculiarities of an enhanced screw-type press // CAD in machinery design. Implementation and educational issues : proceedings of the XXXI International conference CADMD 2023 (Supraśl, Poland, 26-28 October, 2023);
13. Kachur O., Korendiy V., Havran V. Simulation of the stress-strain state of the pressing screw // CAD in machinery design. Implementation and educational issues : proceedings of the XXXI International conference CADMD 2023 (Supraśl, Poland, 26-28 October, 2023).

ЗМІСТ

ВСТУП	16
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМАТИКОЮ ДИСЕРТАЦІЇ.....	21
1.1. Особливості і сфери використання рослинних олій	21
1.2. Критерії і параметри, що визначають якість рослинних олій	24
1.3. Технології виробництва рослинних олій.....	29
1.4. Конструктивні і функціональні особливості пресувального обладнання для виробництва рослинних олій.....	34
1.5. Огляд напрямів і технічних можливостей автоматизації пресового обладнання зі використанням smart технологій	38
1.6. Постановка мети та завдань дисертаційних досліджень	41
Висновки до розділу	42
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ЛОГІКИ РОБОТИ ТА РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ШНЕКОВОГО ПРЕСУ	44
2.1. Огляд технологічного процесу витискання рослинних олій шнековими пресами	44
2.2. Загальний вигляд шнекового преса та аналіз можливостей автоматизації керування його роботою	46
2.3. Встановлення основних керованих критеріїв, які визначають ефективність процесу витискання олії	52
2.4. Обґрунтування логіки роботи шнекового преса та розроблення відповідної блок-схеми і програми керування	54
2.5. Формування функціональної схеми системи керування та підбір обладнання	57
Висновки до розділу.....	66

РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНЕ ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

РОБОТИ ПРЕСА	68
3.1. Формування математичної моделі процесу пресування.....	68
3.2. Чисельне моделювання експлуатаційних характеристик преса у програмному продукті Mathematica.....	76
3.3. Дослідження напружено-деформованого стану шнека у програмному продукті SolidWorks	80
3.4. Розробка принципової електричної схеми приводу пресу	88
3.5. Імітаційне моделювання роботи системи керування у програмному продукті Tinkercad	90
Висновки до третього розділу	94

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЦЕСУ ВИТИСКАННЯ ОЛІЇ.....	97
4.1. Конструктивні та функціональні особливості експериментальної установки.....	97
4.2. Аналіз впливу температурних параметрів на продуктивність пресу	100
4.3. Визначення впливу умов завантаження шнекового преса на споживаний струм його приводу	106
4.5. Огляд перспектив практичного впровадження запропонованої системи керування і smart технологій у різноманітному пресувальному обладнанні.	112
4.6. Встановлення шляхів подальшого удосконалення системи керування шнекового преса для виробництва рослинних олій	113
Висновки до розділу.....	123
ВИСНОВКИ.....	125
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	127

	15
ДОДАТОК А. АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ	140
ДОДАТОК Б. ТРИВИМІРНА МОДЕЛЬ МОДЕРНІЗОВАНОГО ШНЕКОВОГО ПРЕСУ.....	141

ВСТУП

Актуальність теми.

Протягом останніх десятиліть збільшення попиту на олійні культури та продукти їх переробки на внутрішньому та зовнішньому ринках призвело до майже втричі більшої площі під їх посівом і забезпечило їм одне з провідних місць серед сільськогосподарських культур. Олійні культури включають льон олійний, соняшник, ріпак, гірчицю, мак олійний, кунжут, арахіс, сафлор, ріжій, кукурудзу, гарбуз і інші. Отриману олію використовують в різних галузях промисловості, медицині, фармацевтиці, сфері харчування, а відходи олійного виробництва, зокрема, макуху – як корм у тваринництві.

Головним методом отримання рослинних олій є пресування олійної сировини за допомогою шнекових пресів. Від обраної технології пресування й конструктивних параметрів преса у значній мірі залежить якість отриманої олії, повнота відділення (ступінь витискання) олії з рослинних культур, продуктивність пресу, енергетичні затрати процесу тощо. В цілях максимальної автоматизації процесу пресування різної олієвмісної сировини за допомогою уніфікованого пресового обладнання існує потреба в адаптації режимів його роботи до насіння окремих культур з одночасним забезпеченням можливості коректування окремих експлуатаційних параметрів (температури, тиску, дози), що задаються технологічно і впливають на зазначені вище характеристики (якість, продуктивність, енергозатрати тощо).

Тому актуальним є наукове завдання модернізації системи керування преса для забезпечення можливості його автоматизованого функціонування із різними типами олієвмісних культур шляхом упровадження низки контрольно-вимірювальних пристроїв і програмованого контролера.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи відповідає **науковому напрямку кафедри та виконана в межах науково-дослідної роботи “Аналіз та синтез механізмів і машин”** (номер держреєстрації 0123U101415).

Мета дослідження полягає в автоматизації процесу витискання олії з різноманітних олієвмісних рослинних культур з використанням шнекового пресового обладнання шляхом обґрунтування smart системи керування.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати низку **завдань**:

1. Оглянути інформаційні джерела за тематикою дисертації;
2. Обґрунтувати логіку роботи та розробити систему керування шнекового пресу;
3. Здійснити математичне та імітаційне моделювання роботи преса;
4. Провести експериментальні дослідження автоматизованого процесу витискання олії.

Об'єктом дослідження є процес автоматизації роботи шнекового преса для витискання рослинних олій, що здійснюється за рахунок впровадження smart-системи керування.

Предметом дослідження є техніко-експлуатаційні й конструктивні параметри шнекового преса і smart системи керування, а також робочі процеси витискання олій з різних олієвмісних культур.

Методи дослідження. Логіка роботи шнекового преса розроблялася у відповідності із технологічним процесом витискання рослинних олій шнековими пресами. Відповідна блок-схема розроблена згідно з стандартними методами алгоритмізації і програмування, а програма керування роботою преса будувалася у середовищі Arduino, що є спрощеною версією програми C++. Функціональна та принципова електрична схеми системи керування формувалися відповідно до усталених методик схемотехніки, а їх імітаційне моделювання здійснювалося у програмному продукті Tinkercad. Математична модель процесу пресування виводилася на основі методів геометричного моделювання та законів динаміки механічних систем і в'язких середовищ. Чисельне моделювання експлуатаційних характеристик преса виконувалося у програмному продукті Mathematica із використанням вбудованих чисельних методів. Дослідження напружено-деформованого стану шнекового вала проводилося у програмному продукті SolidWorks за допомогою методу скінченних елементів.

Експериментальні дослідження проводилися на дослідному макеті шнекового преса, розробленого в Національному університеті «Львівська політехніка» та оснащеного модернізованою smart системою керування на базі Arduino-мікроконтролера. Експериментальні дані опрацьовувалися згідно з стандартизованими методиками у програмному продукті Mathematica. Для розробки методу класифікації звуку шнекового пресу та зображення насіння використано моделі машинного навчання під наглядом. Навчання проводилось на базі платформи Edge Impulse із використанням згорточної нейронної мережі.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Уперше обґрунтовано технології використання машинного навчання, комп'ютерного зору, а також штучного інтелекту для автоматизації роботи шнекових пресів, зокрема, для аналізування типу олієвмісних культур, ступеня завантаження преса та його інших експлуатаційних характеристик.

2. Удосконалено алгоритм керування роботою шнекового преса з урахуванням температурних параметрів окремих елементів преса, температурних і масових характеристик витиснутою олії, а також споживаного струму приводу. Розроблено відповідну блок-схему керування та функціональну схему для її реалізації на базі Arduino-мікроконтролера.

3. Удосконалено математичні залежності продуктивності шнекового пресу, максимального тиску в камері пресування та корисної потужності приводу від частоти обертання шнекового валу і кроку витків гвинта шнека, що стало передумовою для розроблення smart системи керування роботою преса для різних олієвмісних культур.

4. Дістали подальшого розвитку експериментальні теорії аналізу техніко-експлуатаційних параметрів шнекових пресів, оснащених удосконаленою системою керування, зокрема, вплив температурних параметрів окремих елементів пресу на продуктивність процесу пресування, а також вплив умов завантаження шнека на споживаний струм його приводу.

Практичне значення одержаних результатів

Отримані теоретичні й експериментальні залежності дають змогу оцінити вплив параметрів і режимів роботи шнекового преса на продуктивність й ефективність його функціонування та можуть бути використані в процесі синтезу smart-систем керування для аналогічних машин, призначених для витискання рослинних олій з різних олійних культур.

Зокрема, практично цінними є наступні результати:

- запропонована принципова та функціональна електричні схеми системи керування шнекового преса із урахуванням різноманітних температурних та експлуатаційних параметрів;

- розроблена та експериментально апробована програма керування шнековим пресом на базі Arduino-мікроконтролера, яка може бути в подальшому використана для імплементації систем машинного навчання, комп'ютерного зору і штучного інтелекту;

- створено експериментальний макет шнекового преса із удосконаленою системою керування та запропоноване відповідне лабораторне обладнання й методичне забезпечення для його імплементації в межах навчального процесу студентів спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» на кафедрі систем автоматизованого проектування Національного університету «Львівська політехніка».

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, автору належать: [48, 49] – здійснено 3-D моделювання шнекового пресу; [56, 61, 62, 63, 86] – здійснено аналіз шнекових пресів та визначення перспектив автоматизації шнекового пресу LiangTai LTP200; [65, 70] – підбір обладнання та створення програмного забезпечення; [66] – проаналізовано застосування машинного навчання для виявлення шуму; [103, 104] – досліджено перспективу впровадження машинного навчання та комп'ютерного бачення для шнекового пресу.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційного дослідження апробовано на міжнародних науково-практичних конференціях та семінарах:

- III International scientific and practical conference (Кембридж, Велика Британія, 20 травня 2022 р.);
- XXX Міжнародна польсько-українська науково-технічна конференція (Львів, Україна, 1–2 грудня 2022 р.);
- XXXI International conference CADMD 2023 (Супрасль, Польща, 26–28 жовтня 2023 р.).

Результати дисертаційних досліджень регулярно доповідалися на наукових семінарах кафедри систем автоматизованого проектування Національного університету «Львівська політехніка» (2020-2024).

Публікації. Основні положення дисертації опубліковано у 13 наукових працях, з яких: 8 статей у наукових фахових виданнях України та 5 праць – у матеріалах і тезах конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (104 найменування) та додатків. Основний зміст викладено на 110 сторінках друкованого тексту, містить 53 рисунки, 2 таблиці. Загальний обсяг роботи – 141 сторінка.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМАТИКОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1.1. Особливості і сфери використання рослинних олій

Рослинні олії відіграють надзвичайно важливу роль в багатьох галузях промисловості, таких як харчова, косметична та фармацевтична, промислове виробництво. Найпоширенішою галуззю використання олії є, безсумнівно, харчова промисловість і кулінарія. Рослинна олія не лише покращує смакові якості нашої їжі, але й забезпечує необхідну енергію для регулювання температури тіла.

Олія містить незамінні жирні кислоти, життєво важливі для підтримки здоров'я, оскільки вони є носіями вітамінів і служать попередниками для синтезу гормонів. Завдяки неповторній смаковій палітрі та корисним властивостям олію використовують для приготування різноманітних страв, від салатів до смаженого м'яса та овочів, також для соусів, салатних заправок, випічки та маринадів [1, 2]. Олія, зокрема оливкова, має високий вміст однонасичених жирних кислот, антиоксидантів та вітаміну Е, що робить її корисною для серцево-судинної системи та імунітету загалом.

У той же час рослинні олії мають широке застосування в інших галузях, таких як косметична та фармацевтична промисловість. Рослинні олії є популярними складовими в косметичних засобах, таких як креми, лосьйони, мила, шампуні, кондиціонери та засоби для очищення шкіри. Вони зволожують, живлять та захищають шкіру і волосся. Ефірні олії надають приємних ароматів косметичним засобам, та можуть діяти як консерванти та активні агенти для шкіри. Попит на натуральні інгредієнти спонукає компанії до використання мінімально оброблених рослинних олій у косметичних засобах, оскільки штучні аромати можуть мати негативний вплив на здоров'я. [3].

Олії використовують також для виробництва лікарських засобів, таких як мазі, лікувальні креми, лікарські капсули та інші препарати. Вони володіють протизапальними, протигрибковими та антибактеріальними властивостями, і

можуть бути використані в медичних дослідженнях властивостей та потенційних медичних застосувань конкретних рослинних олій [4].

Крім того, рослинні олії є важливим компонентом у промисловому виробництві, де вони використовуються як сировина для виробництва мила, мастил та інших хімічних продуктів. Рослинні олії, які використовуються для виробництва мийних засобів, мастильних матеріалів, масел для трансформаторів та інших промислових продуктів, знаходять широке застосування в різних галузях. Неправильний вибір або відсутність змащувальних матеріалів може призвести до поломок у механізмах та значних втрат. Більшість змащувальних матеріалів зараз виробляють на основі мінеральної олії, яка має негативний вплив на довкілля. Мінеральні олії спричиняючи забруднення при потрапленні у навколишнє середовище. Зважаючи на ці фактори, а також на той факт що запаси мінеральної олії зменшуються, важливо звертати увагу на екологічно чисті альтернативи.

Рослинні олії розглядають як одну з таких альтернатив завдяки своїм технічним характеристикам і можливостям біодеградації. Незважаючи на деякі обмеження, такі як нестійкість до окислення та висока вартість, зараз ведуть дослідження з метою подолання цих проблем [5].

Також олії широко застосовують у виробництві біопалива. У світі, де проблеми екології стають все більш актуальними, використання рослинних олій для виробництва біодизелю та біолубрикантів вже не лише можливість, але й глобальна реальність, і нагальна потреба. Це відкриває шлях до зменшення залежності від нафтових ресурсів і сприяє розвитку сталої та екологічно чистої промисловості [6].

На ринку переважно домінують пальмова, соєва та ріпакова олії, насамперед завдяки їх високому врожаю та стабільності [7, 8]. У 2023/24 році світове споживання рослинної олії досягло приголомшливих 222 мільйона тон (рис. 1.1) [3], що зумовлено такими факторами, як урбанізація та зміни в харчових уподобаннях. Однак є певні типи олій, такі як рисові висівки, сафлорова та мигдальна, які не використовуються повністю, незважаючи на їх потенційну

користь. Крім того, спеціальні олії, отримані з фруктів і овочів, такі як авокадо та гарбузова олія, пропонують унікальні переваги для здоров'я [1].

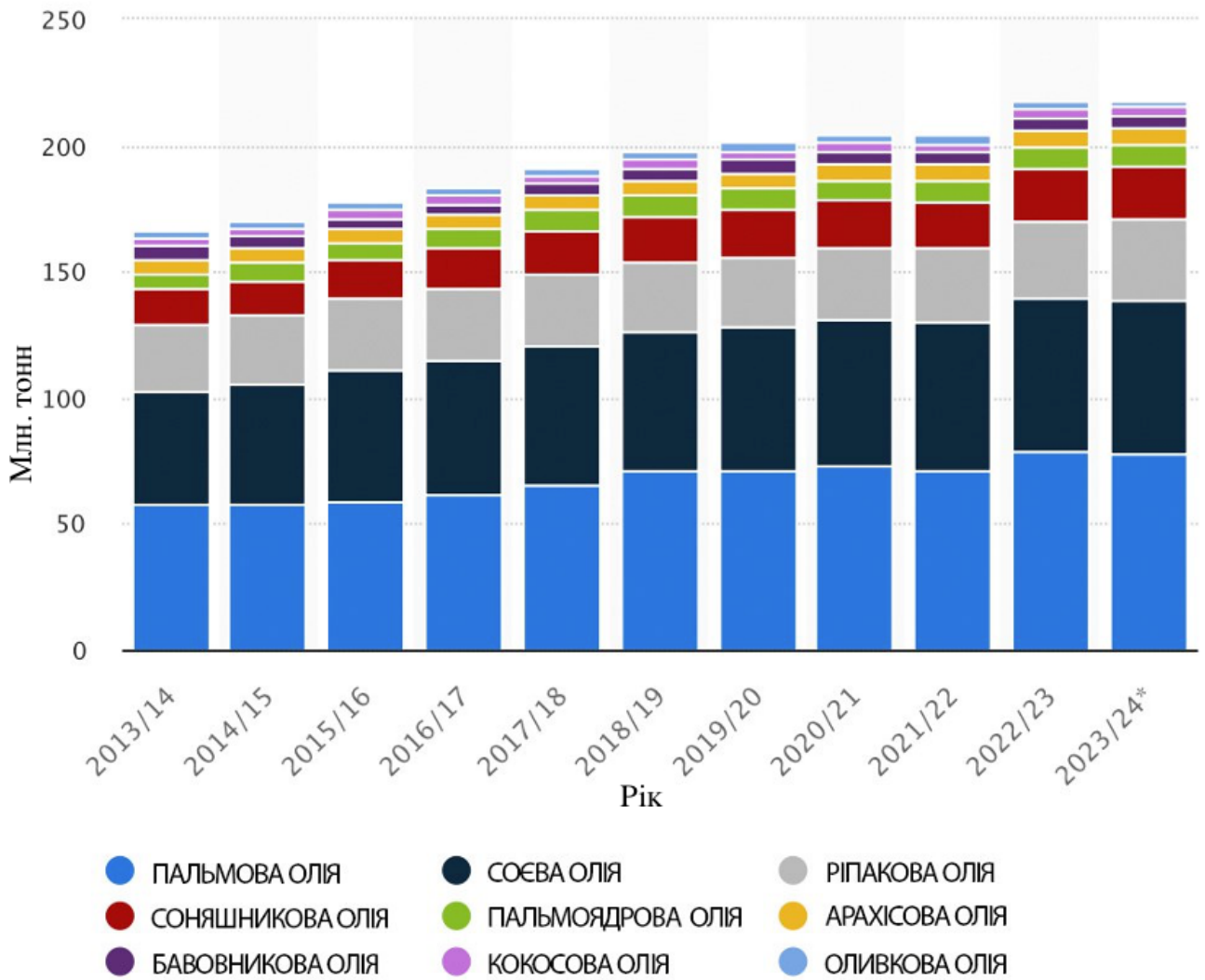


Рис. 1.1 Споживання олії

Процес виробництва рослинних олій залишає за собою велику кількість відходів, таких як борошна, оболонки та гліцерин. Проте ці побічні продукти можуть бути перетворені на цінні ресурси, зокрема, стати джерелом поживних речовин для виробництва ферментів, які використовуються для модифікації олій та жирів.

1.2. Критерії і параметри, що визначають якість рослинних олій

У кожній з галузей, де використовують рослинну олію, розроблено унікальний набір вимог до якості олії. Якість рослинної олії в харчовій промисловості можна визначити за допомогою наступних критеріїв і параметрів:

- Чистота: Відсутність забруднювачів та шкідливих речовин.
- Вміст вітамінів: Наявність вітамінів, таких як вітамін Е і D.
- Термін придатності: Тривалість зберігання без зміни якості.
- Щільність: Це параметр, який вказує на важкість олії. Його можна вимірювати за допомогою гідрометра.
- Кислотність: Це показник, який визначає рівень вмісту вільних жирних кислот у олії, а також присутність незамінних жирних кислот, таких як омега-3 та омега-6. Високий рівень кислотності може спричинити неприємний смак.
- Індекс перекису: Це показник, який вказує на кількість пероксидів в олії.
- Колір: Колір олії може вказувати на її якість. Олія високої якості зазвичай має світлий, золотистий колір.
- Аромат і смак: Ці два параметри важливі, оскільки вони безпосередньо впливають на сприйняття продукту споживачами.

При витисканні олії у харчовій промисловості найбільшу вагу приділяють саме хімічному складу. За останні десятиліття було проведено значні дослідження щодо користі рослинних олій для здоров'я, що дозволило розкрити їхні потенційні переваги та визначити механізми їхньої дії. Завдяки цим дослідженням ми знаємо, що регулярне вживання рослинних олій може допомогти зменшити ризик серцево-судинних захворювань, діабету 2 типу, запальних захворювань та інших хронічних захворювань.

Незамінні жирні насичені кислоти (НЖК), такі як родини омега-3 та омега-6, є надзвичайно цінними для здоров'я, оскільки людський організм не здатен синтезувати їх самостійно. Серед рослинних олій кокосова олія має найвищий

вміст НЖК, а олія гранатових кісточок – найнижчий [9]. Мигдальна олія має особливо високий вміст мононасичених жирних кислот (МНЖК), тоді як олія гранатових кісточок, олія примули вечірньої, сафлорова олія та лляна олія багаті полінасичені жирні кислоти (ПНЖК). Основні жирні кислоти, що містяться в оліях, включають пальмітинову, лінолеву, олеїнову та ліноленову кислоти. Оливкова олія відома своїм високим вмістом олеїнової кислоти, соняшникова олія містить лінолеву кислоту, а лляна олія багата α -ліноленовою кислотою. Деякі олії, як-от олія примули вечірньої, також містять унікальні жирні кислоти, такі як γ -ліноленова кислота.

Токоли, які складаються з токоферолів і токотрієнолів, є сполуками вітаміну Е, які в основному присутні в рослинних оліях. Вони діють як антиоксиданти, щоб пригнічувати окислення ліпідів. Серед токоферолів [12] найбільшу фізіологічну активність виявляє α -токоферол, а найсильнішу антиоксидантну дію – δ -токоферол. Олія гранатових кісточок має найвищий загальний вміст токоферолу, слідом за нею є соєва олія. Соняшникова олія містить велику кількість α -токоферолу, тоді як олія гранатових кісточок містить найвищий рівень γ -токоферолу [13, 14].

Фітостероли, подібні до холестерину, є незамінними рослинними сполуками, які так само надходять в людський організм разом з їжею [16]. Рослинні олії містять понад 100 фітостеролів, серед яких β -ситостерин є найбільш поширеним. β -ситостерин міститься у великій кількості в олії рисових висівок, тоді як кукурудзяна олія містить значні кількості як β -ситостеролу, так і кампестеролу. Олія рисових висівок є головним претендентом на кількість різноманітних фітостеролів, що робить її цінним джерелом цих корисних сполук [17].

Сквален, терпеноїдний вуглеводень, відіграє вирішальну роль у біосинтезі фітостеролів. Оливкова олія має найвищий рівень сквалену, особливо в оливковій олії першого віджиму, за якою йдуть олії рисових висівок, кукурудзи та гарбузового насіння [18]. Сира соняшникова олія зазвичай містить 15,0-20,0 мг/100 г сквалену, тоді як олія примули вечірньої не містить цієї сполуки. На

коливання вмісту сквалену в олії можуть впливати такі фактори, як генетика, умови зростання, клімат і технології обробки.

Фенольні сполуки відіграють важливу роль як вторинні метаболіти. Загальний вміст фенолу в олії може значно змінюватися в діапазоні від 0,4 мг/кг до 59 300,0 мг/кг залежно від таких факторів, як джерело олії та методи, які використовуються при її виробництві. Зокрема, кокосова олія, олія насіння перили, олія рисових висівок і олія гранатових кісточок мають надзвичайно високий вміст фенолів [19]. На цю варіацію впливають такі фактори, як різноманітність насіння, агротехніка, зрілість урожаю, методи екстракції та умови зберігання [20]. Ключові компоненти репрезентативних рослинних олій, що відповідають їх користі для здоров'я зображено на рисунку 1.2.

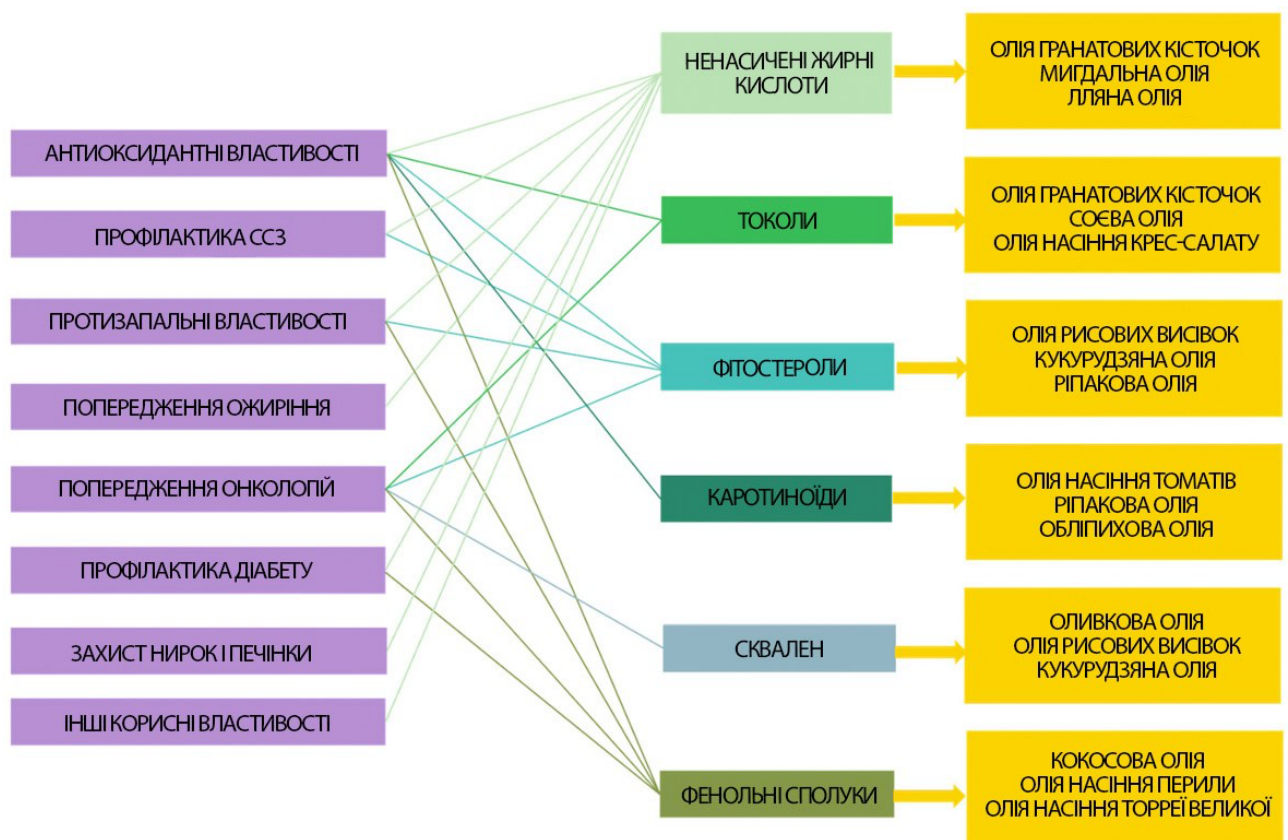


Рис. 1.2 Ключові компоненти репрезентативних рослинних олій, що відповідають їх користі для здоров'я.

Активні форми кисню і вільні радикали, що утворюються під час метаболічних процесів або за несприятливих обставин, можуть призвести до окислювального стресу, завдаючи шкоди ліпідам, білкам і ДНК, тим самим сприяють розвитку хронічних захворювань [11]. Активні компоненти, що містяться в рослинних оліях, такі як токофероли, фітостероли, каротиноїди та феноли, сприяють усуненню вільних радикалів і запобіганню окисленню, що в кінцевому підсумку приносить користь здоров'ю людини [21, 22, 23, 24, 25].

В косметичній промисловості велику роль відіграють такі критерії якості олії як:

- Вміст жирних кислот: Жирні кислоти в оліях допомагають забезпечити глибоке зволоження шкіри.
- Вітаміни: Олії, які містять велику кількість вітамінів, особливо вітамінів А, Е і С, важливі для здоров'я шкіри.
- Запах: Для косметичних продуктів важливо, щоб олії не мали сильного запаху.
- Абсорбція: Швидкість вбирання олії шкірою.
- Неалергійність: Відсутність подразнення шкіри та алергічних реакцій.
- Стабільність: Олії повинні бути стабільними і не окислюватися в процесі зберігання.

Інфузії з олії насіння винограду часто зустрічаються в продуктах для шкіри, оскільки вони мають властивості антиоксидантів та містять велику кількість вітаміну Е. Олія жожоба є особливо популярною через свою підтримку балансу шкіри, що допомагає контролювати вироблення себума. Арганова олія, відома своїми відновлювальними та зволожувальними властивостями, часто використовується в засобах для догляду за волоссям. Ромашкова олія включається в склад косметичних засобів через свої заспокійливі та протизапальні властивості. Кокосова олія відзначається своєю високою живильною силою і широко використовується в засобах для тіла.

У фармацевтиці значна увага приділяється таким параметрам:

- Чистота: Фармацевтичні олії повинні бути чистими і вільними від забруднювачів.
- Стабільність: Олії повинні бути стабільними і не окислюватися в процесі зберігання.
- Композиція: Фармацевтичні олії повинні містити конкретні сполуки, які потрібні для виробництва лікарських препаратів.

Олія лляного насіння, багата омега-3 жирними кислотами, використовується в ліках, що підтримують серцево-судинну систему. Касторова олія відома своїми очисними властивостями і часто використовується в препаратах для лікування запорів. Пшеничне зерно, відоме своїми антиоксидантами і вітаміном Е, використовується для створення препаратів для поліпшення стану шкіри. Олії евкаліпта та м'яти часто використовуються в продуктах для полегшення дихання. Крім того, риб'ячий жир, що містить омега-3 жирні кислоти, використовується для виробництва харчових добавок для підтримки мозкової функції та здоров'я очей.

Якщо говорити про промислове виробництво, якість олії визначають такими показниками:

- В'язкість: Для промислових олій важлива їх в'язкість, особливо для використання в мастилах.
- Температура спалаху: Олії повинні мати високу температуру спалаху, щоб бути безпечними у використанні.
- Стабільність: Олії повинні бути стабільними при зберіганні і використанні.
- Чистота: Олії повинні бути очищеними.

Якість рослинних олій значною мірою залежить від різних чинників, які виникають під час їх витискання. Це включає у себе вибір рослинного сировини, обробку перед витисканням, сам процес витискання, а також наступні етапи обробки.

Якісна олія вимагає високоякісного сировини. Пошкоджені, хворі або недозрілі рослини можуть негативно вплинути на якість олії. Перед витисканням олії, рослини зазвичай очищують, сушать і подрібнюють. Ці процеси повинні проводитися акуратно і ефективно, щоб запобігти пошкодженню жирних кислот і втраті цінних поживних речовин.

Метод витискання повинен бути оптимально підібраний для кожного конкретного виду рослин. Наприклад, для деяких рослин краще підходить холодний прес, для інших - гарячий. Важливо також контролювати температуру, текучість маси та час витискання, щоб забезпечити максимальне видобування олії без пошкодження її хімічної структури.

Після процесу витискання, олію зазвичай очищують від домішок, осаду, вологи та інших компонентів. Отже, якість олії під час витискання залежить від багатьох ключових чинників і потребує високого рівня якості контролю на кожному етапі. Лише через врахування всіх цих аспектів можна отримати олію високої якості, що відповідає всім стандартам.

1.3. Технології виробництва рослинних олій.

Протягом останніх століть були розроблені різні методи витискання олії з олійних культур. Метою цих методів є ефективний збір максимальної кількості олії з насіння при мінімізації витрат. Виробництво рослинної олії включає в себе кілька ключових етапів, незалежно від методу отримання олії:

1. Попередня обробка сировини. Рослинну сировину (насіння, олійні плоди) очищають від забруднень, сушать і подрібнюють. Це допомагає підготувати матеріал до ефективного витискання олії;
2. Безпосереднє витискання олії, процес якого залежить від обраного методу;
3. Очищення. Олію відокремлюють від твердих частинок, вологи та інших небажаних речовин за допомогою центрифуги або осаджування;
4. Рафінування. Рафінування має на меті видалити з олії будь-які небажані речовини, що можуть вплинути на її смак, запах, колір або

стабільність. Цей процес може включати в себе гідратацію, виморожування, нейтралізацію, дезодорацію та відбілювання;

5. Упакування. Наприкінці, олію розливають по пляшках, банках або бочках для подальшого зберігання і продажу.

При виробництві рослинної олії важливо ретельно контролювати якість на кожному етапі, щоб кінцевий продукт відповідав всім встановленим стандартам.

Обробка насіння та олійних плодів різняться залежно від їх природи та вмісту олії. В даний час існує чотири основні методи (рис. 1.3), які використовують у всьому світі для отримання рослинної олії: хімічна екстракція, екстракція надкритичною рідиною, дистиляція з водяною парою та механічна екстракція.



Рис. 1.3 Методи отримання олії

Протягом тисячоліть найпоширенішим способом отримання харчової олії з багатих на неї матеріалів було механічне пресування. Механічний метод пресування олії полягає в тому, що рослинну сировину пропускають через спеціальний прес під високим тиском. Витискання олії може здійснюватися при кімнатній температурі (холодний прес) або при підвищеній температурі (гарячий прес). Механічне пресування є відносно простим і не вимагає складного обладнання, порівняно з іншими методами. Механічний прес дозволяє зберегти більшу кількість вітамінів та антиоксидантів в олії, а також забезпечує екологічність, адже не використовує хімічних розчинників, тому продукт є більш

натуральним і безпечним для споживання. Після пресування залишається суха макуха, що може бути використана як корм для тварин або органічне добриво.

Для механічного витискання олії часто використовують шнекові преси. Шнек – це спіральний вал, який розташований всередині циліндричного корпусу. Коли шнек обертається, він переміщує сировину вперед. Шнековий прес може мати один або два шнеки. За технологічним призначенням їх класифікують на:

- Форпреси, призначені для попереднього витискання олії;
- Експелери, призначені для остаточного витискання;
- Преси подвійного призначення.

Гідравлічний прес - це тип пресу, який використовує гідравліку, тобто рідину під тиском, для генерування великої сили тиску на об'єкт. Сировину завантажують в прес, після чого застосовується високий тиск, що забезпечується гідравлічною системою. Основними перевагами гідравлічного пресу є його здатність витиснути велику кількість олії із сировини, а також здатність працювати з твердими та вологими матеріалами. Гідравлічний прес також може забезпечити більш стабільний і однорідний тиск, ніж інші види пресів. Однак головним недоліком гідравлічного преса є його висока вартість, а також необхідність у регулярному технічному обслуговуванні і заміні гідравлічної рідини. У той час як гідравлічні преси були замінені більш ефективними методами, такими як безперервні шнекові преси та установки для екстракції розчинником, промисловість оливкової олії продовжує покладатися на них досі.

Хімічна екстракція – це процес, при якому з рослинних матеріалів видобувають олію за допомогою хімічних розчинників. Для полегшення процесу екстракції використовують ферменти або розчинники (рис. 1.4), найчастіше для цих цілей використовується гексан. Цей метод дає змогу ефективніше витиснути олію з рослинного матеріалу, порівняно з механічним пресуванням, але він вимагає складнішого обладнання та використання хімічних речовин.

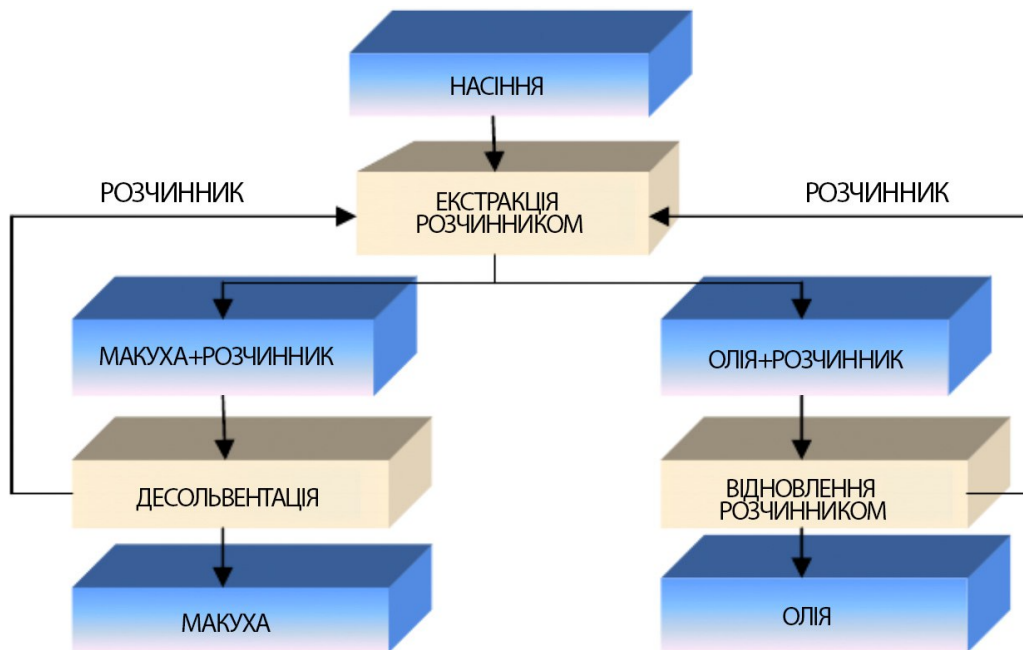


Рис. 1.4 Екстракція рослинної олії розчинником [10].

Екстракція розчинником передбачає попереднє очищення, подрібнення та іноді нагрівання. Далі підготовлену сировину поміщають в екстрактор із хімічним розчинником, в результаті чого утворюється суміш під назвою місцела. Розчинник проникає в структуру рослинного матеріалу та розчиняє в собі олію. Після цього місцелу відокремлюють від твердих частинок, згодом місцела нагрівається для випаровування та зменшення вмісту розчинника. Випаруваний розчинник збирають і повторно використовують. Олію, отриману хімічним шляхом, рафінують для видалення небажаних домішок, що можуть погіршувати її смак, запах та строк придатності для споживання.

Незважаючи на свою ефективність, екстракція розчинником має недоліки, адже несе потенційну небезпеку для здоров'я через хімічні розчинники, має високий рівень займання, потребує великих капітальних та експлуатаційних витрат, та в кінцевому результаті отримують нижчу якість олії порівняно з пресованою олією.

Екстракція рослинної олії надкритичною рідиною (рис. 1.5) є науково-інтенсивним методом, який використовує надкритичні рідини для отримання олії з рослин. Найчастіше для цього використовують надкритичний діоксид вуглецю (CO₂).

Рослинну сировину спочатку підготовляють, тобто очищають, сушать і подрібнюють на маленькі частинки. Далі її поміщають у екстракційну камеру з CO_2 , де підвищують тиск та температуру, після чого діоксид вуглецю переходить у надкритичний стан - стан між газом і рідиною. Такий надкритичний CO_2 проникає в рослинний матеріал і розчиняє олію. Цю суміш поміщають в іншу камеру, де тиск та температура знижуються, а CO_2 переходить у газовий стан і відділяється від олії. Сам газ збирають та конденсують назад у рідкий стан для повторного використання. Залежно від вимог до кінцевого продукту, олію можуть рафінувати для видалення будь-яких небажаних домішок.

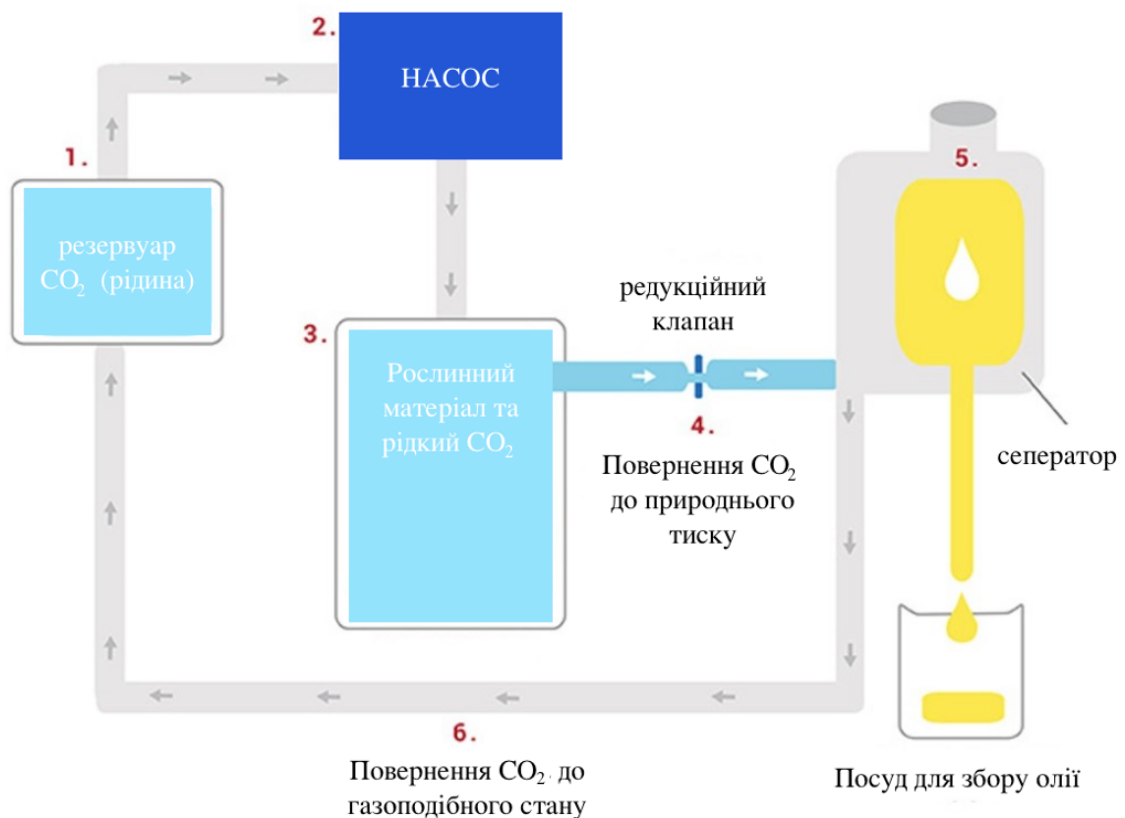


Рис. 1.5. Екстракція рослинної олії надкритичною CO_2 рідиною

Перевагами надкритичної екстракції є висока чистота та якість олії, а також відсутність залишків розчинника. Проте цей метод вимагає великих витрат на обладнання та енергію і найбільш ефективний на великих масштабах виробництва.

Дистиляція не є основним методом екстракції рослинної олії, але вона широко використовується у виробництві ефірних олій. Процес полягає в тому, що підготовлену сировину поміщають в дистиляційний апарат, де її обробляють паром або окропом. Під час цього процесу відбувається випаровування ефірної олії. Пара з ефірною олією проходить через конденсатор, де вона охолоджується і конденсується у рідину. Ефірна олія витікає з конденсатора в колбу для відокремлення, де вона відокремлюється від води. Зазвичай ефірна олія подається на наступний етап очищення або фільтрації, щоб видалити будь-які домішки. Ефірні олії, отримані дистиляцією, використовуються в косметичці, парфумерії, ароматерапії, фармацевтиці і харчовій промисловості.

1.4. Конструктивні і функціональні особливості пресувального обладнання для виробництва рослинних олій

Пресувальне обладнання для виробництва рослинних олій налічує різні типи пресів, такі як: гідравлічні, шнекові, стрічкові, вальцьові та інші. Кожен тип пресу має свої особливості конструкції і принципи роботи, що впливають на ефективність витискання та якість продукту.

Функціональні особливості пресувального обладнання для виробництва рослинних олій включають:

- Стиснення сировини: забезпечення необхідного тиску для витиснення олії з рослинних матеріалів.
- Оптимізація процесу: автоматизовані системи керування, які дозволяють контролювати температуру, тиск і інші параметри для оптимального процесу витиснення олії.
- Очищення і фільтрація: Фільтраційні системи, які вбудовані в прес, дозволяють очищувати олію від залишків сировини і домішок.
- Різноманітність робочих режимів: Обладнання може мати можливість працювати в різних режимах в залежності від типу сировини та вимог виробництва (наприклад, холодне чи гаряче пресування).

- Енергоефективність: Сучасні преси спроектовані з урахуванням енергоефективності, забезпечуючи економію електроенергії під час процесу пресування.

Гідравлічний прес продемонстрований на рис. 1.6, використовується для витискання соку та олії з фруктів, овочів та насіння.

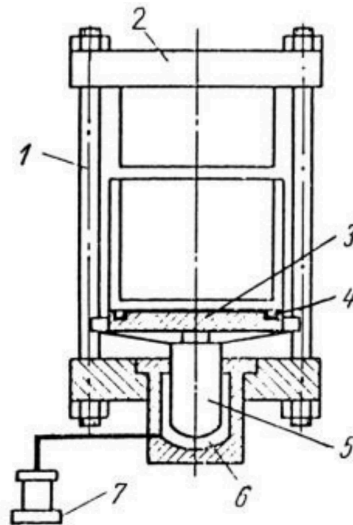


Рис. 1.6 Схема гідравлічного преса

Гідравлічний прес складається з напрямних колон 1, нерухомої плити 2, траверса 3, каналу для накопичення витисненої рідини 4, плунжера 5, робочого циліндра 6 та насоса 7. Це обладнання має просту та надійну конструкцію, але має деякі недоліки. Зокрема, тривалість робочого циклу досить велика, та існує ризик отримання малої кількості витисненого продукту. Для вирішення цієї проблеми сировину упаковують у пакети з мішковини або лавсанової тканини товщиною 50 – 80 мм перед тим, як завантажити її у прес-форму. Також використовуються проміжні сталеві плити для кращого стискання матеріалу. Однак неідеальна схема навантаження преса змушує збільшувати тиск у гідросистемі до 80 МПа і більше під час робочого процесу, що в свою чергу демонструє збільшення енерговитрат [47].

Шнековий прес зображено на рис. 1.7, він розроблений з метою забезпечення безперервного та високопродуктивного робочого процесу.

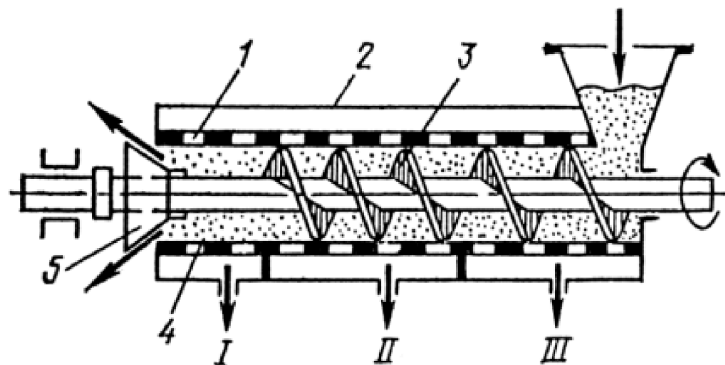


Рис. 1.7. Схема шнекового преса

Шнековий прес має наступні елементи: перфорований циліндр 1, корпус 2, шнек 3, камера тиску 4, конус 5. Кінцевий результат після витискання на цьому пристрої є досить високий - 74-76% [47].

На рисунку 1.8 зображено стрічковий прес, який має продуктивність від 6 до 16 тон на годину обробленої сировини, що дозволяє збільшити вихід рідини до 80% і скоротити тривалість робочого процесу до 4 хвилин.

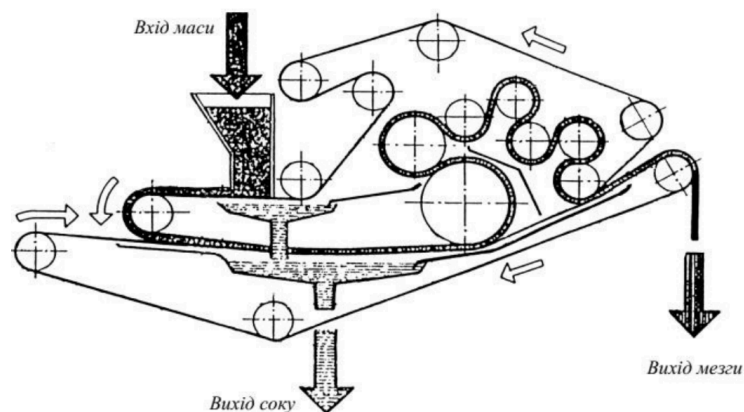


Рис. 1.8. Схема стрічкового преса ПВК-12

Проблемою стрічкового типу пресу є значне навантаження на виконавчі компоненти - стрічки з полімерного перфорованого полотна або з плетеної сітки - і швидке їх зношування [47].

На рисунку 1.9 показана схема вальцювого преса, який характеризується складною конструкцією і меншою надійністю порівняно з попередніми машинами.

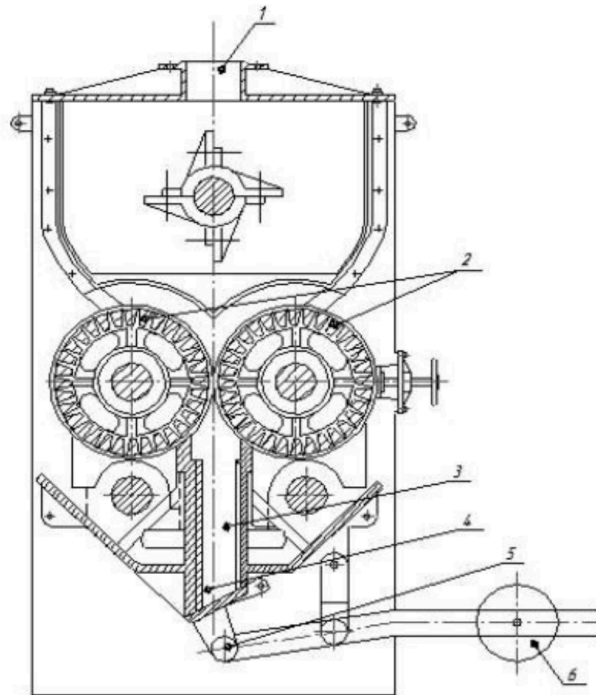


Рис. 1.9. Схема вальцювого преса

Вальцювий прес складається з завантажувального патрубку 1, барабанів 2, камери для витисненого продукту 3, прохідної щілини 4, кришки 5 та ваги 6

Крім того, для досягнення найнижчих значень кінцевого витисненого продукту (20 – 25%) на цьому пресі необхідно суттєво знижувати продуктивність робочого процесу [47].

Декантерна центрифуга є досить продуктивним типом пресувального обладнання, але конструктивно та експлуатаційно складним обладнанням. Кінцевий результат витиснення з такого типу пресів складає не менше 74%, що потребує додаткового механічного зневоднення або сушіння [47].

Декантерна центрифуга (рис. 1.10) складається з двигуна барабану 1, муфти 2, редуктора 3, підшипника барабану 4, барабану 5, шнеку 6; корпусу 7, зони сепарування 8, регулювального кільця 9, подачі продукту 10, подавальної труби 11, підшипника барабану 12; виходу освітленої рідини 13; підшипника шнеку 14, розподільника 15, вивантаження твердої фази 16, двигуна шнеку 17.

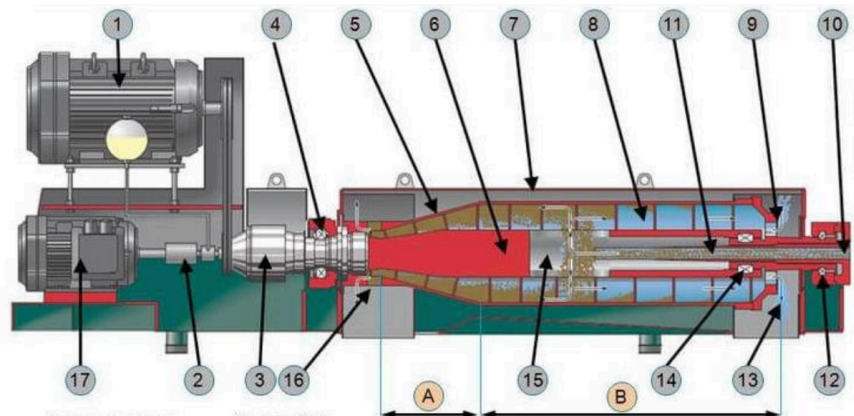


Рис. 1.10. Схема декантерної центрифуги

1.5. Огляд напрямів і технічних можливостей автоматизації пресового обладнання зі використанням smart технологій

В останні роки автоматизація промислових процесів з використанням smart технологій стала ключовим напрямом розвитку виробництва. Особливо це стосується сфери пресового обладнання для виробництва рослинних олій [48, 49].

Дослідження [50] демонструє аналіз використання експериментального шнекового преса, який обладнаний шістнадцятьма датчиками тиску та трьома датчиками температури.

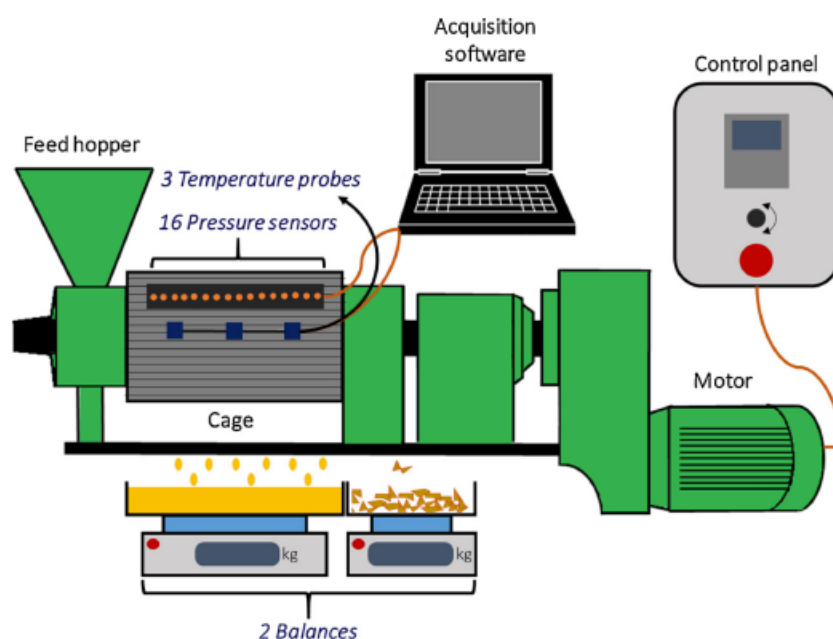


Рис. 1.11 Експериментальний шнековий прес

Важливим етапом є дослідження впливу швидкості обертання шнека на продуктивність пресу та процес потоку матеріалу всередині. Автори [50] оцінювали ємність пресу, час проходження, вихід олії та споживання енергії при швидкостях 0–18.2 об/хв. Результати показали, що зі збільшенням швидкості обертання покращується ємність пресу та скорочується час проходження, але зменшується вихід олії та енергоефективність. Дані дозволили ідентифікувати різні функціональні секції шнекового пресу (живлення, стиснення, змішування/відпочинок) у залежності від геометрії шнека.

Вивчення впливу попередньої обробки насіння, налаштувань шнекового пресу (швидкість обертання валу та вихідна секція пресу) на вихід олії є важливим для проектування пресів [51, 52]. У роботі [53] розглянуті дві механічні технології розділення (шнековий прес і декантуюча центрифуга). З двох технологій, які були оглянуті, виявилось, що шнекове пресування є більш вигідним варіантом. Одним з варіантів вдосконалення конструкції двогвинтових прес-екструдерів для збільшення виходу соняшникової олії [54], є використання емпіричних методів [55] для аналізу і покращення форми шнекового валу, щоб знайти оптимальне рішення.

У дослідженнях [56] застосовується візуальний огляд, розробка моделей і симуляція шнекового пресу за допомогою SolidWorks, а також розрахунок конструктивних властивостей. Симуляція пресу з поступово змешуючим валом і шнеком з однаковим кроком з статичною і динамічною аналітикою показала загальний термін служби 4085 годин і 3621 годин відповідно [57]. У той час як симуляція пресу з двома шнеками з однаковим кроком зі статичним і динамічним аналізом показала загальний термін служби 3262 годин і 1685 годин відповідно.

У роботі [58] досліджується можливість удосконалення з метою обмеження витрат і підвищення ефективності екстракції олії з плодів пальмового дерева. Ця робота спрямована на розробку шнекового пресу зі змінним кроком конусоподібного валу (VATS) для підвищення ефективності екстракції олії з плодів пальмового дерева. Оцінка продуктивності преса включала ефективність екстракції та втрати при екстракції. Результати показали, що середня

ефективність екстракції та втрати при екстракції склали відповідно 97,73% та 2,37%. При цьому була досягнута вища ефективність пресу на рівні 94,45% за умов температури 130°C, швидкості обертання валу 60 об/хв та часу нагрівання 15 хвилин.

У статті [59] досліджується використання підходу «Розподілу Часу Перебування» (RTD) для оцінки рівномірності потоку матеріалу у шнекових пресах, залежно від геометрії преса та умов експлуатації. Теоретичне моделювання та експериментальні дослідження проводилися на двох різних типах шнекових пресів (Reinartz та Olexa) з різними швидкостями обертання. Отримані результати показали вплив геометрії шнека та швидкості обертання на потік насіння у пресі. Дослідження дозволило отримати цінну інформацію про ступінь дисперсії, функції розподілу та можуть бути корисні для прогнозування продуктивності шнекових пресів та проектування більш ефективного обладнання для промислових потреб.

У дослідженні [60] описано експериментальні та теоретичні криві сили-деформації для насіння соняшнику у шнековому пресі FL 200. Дослідження надає корисну інформацію для аналізу та оптимізації параметрів шнекового пресу FL 200, а також для розробки нових конструкцій та розвитку нових олійних пресів.

Проаналізувавши напрями та технічних можливостей автоматизації [61, 62, 63] в цій галузі існує потреба у вдосконаленні з таких основних елементів як:

1. Ефективність виробництва: Багато пресів працюють неоптимально та неефективно через нестабільність процесу або недостатню автоматизацію. Вдосконалення цього може забезпечити збільшення продуктивності та зниження витрат на виробництво [64].

2. Якість продукції: Недоліки в поточних системах контролю можуть призводити до виробництва бракованої продукції. Використання smart технологій може допомогти автоматизувати процес контролю якості та забезпечити стабільність якості виробів.

3. Безпека та надійність: Старе пресове обладнання може бути менш безпечним та надійним через зношеність або відсутність систем безпеки. Застосування smart технологій може допомогти виявляти потенційні проблеми та автоматично реагувати на них для запобігання поломки пристрою.

Напрями та технічні можливості автоматизації пресового обладнання з використанням smart технологій включають:

1. Системи моніторингу та діагностики: Встановлення датчиків та систем моніторингу для відстеження робочих параметрів та виявлення потенційних проблем [65].

2. Автоматичне регулювання параметрів: Розробка систем, які автоматично налаштовують параметри пресування для досягнення оптимальних результатів.

3. Інтелектуальні системи контролю якості: Застосування машинного навчання та штучного інтелекту для автоматизованого аналізу якості виробів та виявлення дефектів [66].

4. Системи віддаленого керування: Розробка мережевих зв'язків для віддаленого керування та моніторингу пресового обладнання з будь-якого місця через Інтернет.

5. Інтеграція з інтернетом речей (IoT): Підключення пресового обладнання до Інтернету речей для збору та аналізу даних, що дозволяє вдосконалити процеси виробництва та управління.

1.6. Постановка мети та завдань дисертаційних досліджень

Зважаючи на розглянуті вище проблеми експлуатації пресового обладнання для виробництва рослинних олій, а також зазначені у попередньому пункті перспективи його удосконалення, у даній дисертаційній роботі закладено ідею модернізації системи керування преса для забезпечення можливості його автоматизованого функціонування із різними типами олієвмісних культур шляхом упровадження низки контрольно-вимірювальних пристроїв і програмованого контролера.

Мета дослідження полягає в автоматизації процесу витискання олії з різноманітних олієвмісних рослинних культур з використанням шнекового пресового обладнання шляхом обґрунтування smart-системи керування.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати низку **завдань**:

1. Оглянути інформаційні джерела за тематикою дисертації;
2. Обґрунтувати логіку роботи та розробити систему керування шнекового пресу;
3. Здійснити математичне та імітаційне моделювання роботи преса;
4. Провести експериментальні дослідження автоматизованого процесу витискання олії.

Об'єктом дослідження є процес автоматизації роботи шнекового преса для витискання рослинних олій, що здійснюється за рахунок впровадження Smart-системи керування.

Предметом дослідження є техніко-експлуатаційні й конструктивні параметри шнекового преса і smart системи керування, а також робочі процеси витискання олій з різних олієвмісних культур.

Висновки до розділу

В першому розділі здійснено огляд особливостей і сфер застосування рослинної олії. Найпоширенішою галуззю використання олії є харчова промисловість і кулінарія, у той же час рослинні олії мають широке застосування в косметичній галузі, фармацевтичній промисловості, та промислового виробництва.

Здійснено аналіз критеріїв і параметрів, що визначають якість рослинних олій. Критерії якості рослинних олій визначаються комплексом параметрів, таких як хімічний склад (вміст жирних кислот, вітамінів, антиоксидантів), органолептичні характеристики (запах, колір, смак) та стійкість до окислення. Ці критерії можуть різнитися, залежно від сфери використання олії.

Описано сучасні технології виробництва рослинних олій, проаналізовано переваги і недоліки кожного із способів. Це дало нам змогу визначити напрями,

які потребують оптимізації. Розглянуто конструктивні і функціональні особливості пресувального обладнання для виробництва олій.

На основі вищенаведеного проведено огляд напрямків автоматизації процесу пресування олії за допомогою шнекового пресу. Впровадження інноваційних smart рішень, таких як автоматизовані системи моніторингу, контролю, керування, регулювання параметрів, системи інтегровані з інтернетом речей, сприяє підвищенню ефективності виробництва, зменшенню витрат і покращенню якості продукції і безпеки процесу.

Описано ідею та мету відповідно до напрямку дисертаційного дослідження, та сформульовано завдання які необхідно виконати задля досягнення мети. Чітка постановка ідеї, мети та завдань допоможе пізніше оцінити, наскільки результати дослідження відповідають поставленим цілям.

РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ЛОГІКИ РОБОТИ ТА РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ШНЕКОВОГО ПРЕСУ

2.1. Огляд технологічного процесу витискання рослинних олій шнековими пресами

Технологічний процес витискання олії шнековими пресами є важливим процесом у виробництві олійних культур [67], таких як соняшник, соя, рапс та інші. Цей метод витискання є ефективним і екологічно чистим способом витиснення олії з насіння рослин. Процес полягає у подачі насіння через шнек, який стискає і переробляє сировину. Під дією тиску і тертя насіння, відбувається виділення олії із насіння. На етапі витискання основну роль відіграє шнековий вал або шнек. Це металевий циліндр зі спіральними витками, які призначені для переміщення насіння вздовж каналу преса. Коли шнек обертається, насіння подається вперед по каналу преса. Шнековий канал найчастіше має вузьку частину або обмеження, яке створює високий тиск на насіння. Під впливом цього тиску, олія, яка міститься в насінні, витікає через пори або маленькі отвори в корпусі преса або в сітці, яка знаходиться в кінці каналу.

В процесі витискання важливо контролювати температуру. Надмірна температура може призвести до окислення олії. Звичайно, для контролю цих параметрів використовуються спеціалізовані датчики і системи керування. Після того, як олія витискається, у пресі залишаються тверді відходи насіння, відомі як макуха. Ці відходи потім видаляються з преса для подальшої переробки або використання.

Метод витискання олії шнековим пресом має ряд переваг, включаючи високу якість олії, ефективність витрат сировини, низьку витрату енергії та можливість використання на різних масштабах виробництва — від домашнього використання до промислових рівнів. Важливо також зазначити, що цей процес дозволяє зберігати більшість корисних речовин, які містяться в рослинному матеріалі, тому що не вимагає високих температур, які можуть руйнувати ці речовини. Порівняно з гідравлічними пресами шнекові преси пропонують дещо

вищу ефективність витискання олії та забезпечують безперервний процес роботи.

Шнекові преси можуть бути форпресами або експелерами. Головна відмінність між ними полягає у конструкції шнекового валу. Форпреси мають зменшення кроку витків від початку до кінця валу, іноді зі збільшенням діаметра тіла витка. Для експелерів зміна кроку витків і діаметра відбувається у меншій мірі. При проектуванні шнекових пресів для витискання рослинних олій використовуються два основних типи шнеків: одношнекові (з одним шнеком) і двошнекові (з двома шнеками). Кожний з цих видів має свої характеристики і застосовується відповідно до конкретних потреб, вимог та обставин виробництва.

Одношнекові преси (рис. 2.1.):

- Одношнекові преси мають один циліндричний шнек, що обертається всередині корпусу пресу [68].
- Насіння рослин подається в одну сторону шнека і піддається поступовому стискуванню та переробці.
- Даний тип пресу зазвичай застосовується для обробки менших обсягів сировини, таких як домашнє використання або невеликі виробничі потужності.

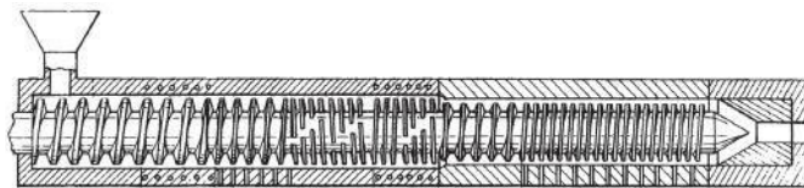


Рис. 2.1 Одношнековий прес

Двошнекові преси (рис. 2.2):

- Двошнекові преси мають два паралельних циліндричних шнеки, які обертаються узгоджено всередині корпусу [68];
- Насіння рослин подається між двома шнеками, де відбувається подвійне стискування і переробка;

- Цей тип пресу зазвичай використовується для широкомасштабного виробництва, де потрібна висока продуктивність і ефективність витискання.

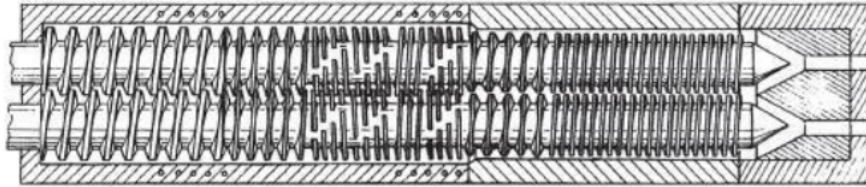


Рис. 2.2 Двошнековий прес

Вибір типу пресування залежить від характеристик сировини, масштабів виробництва, бюджету і вимог до якості кінцевого продукту. Для підвищення ефективності шнекових пресів було вжито багато зусиль, увагу зосереджували на оптимізації таких параметрів процесу, як тиск, температура та кондиціонування вологи. Прогрес у дизайні та конструкційних матеріалах сприяв винаходу технології екструзії-витискання (extruding-expelling).

Технологія передбачає попередню екструзію сировини, під час чого утворюється тепло від тертя між насінням в екструдерах. Це спрощує процеси розриву тканини та нагрівання, і збільшує вилучення олії до понад 70%. Моделювання та вдосконалення шнекових пресів, налаштування їх відповідно до конкретних цілей відіграє важливу роль в процесі витиснення олій.

2.2. Загальний вигляд шнекового преса та аналіз можливостей автоматизації керування його роботою

Загальна конструкція малогабаритного побутового шнекового преса LiangTai LTP200 [69] представлена на рис. 2.3. Він призначений для холодного та гарячого пресування різного виду насіння, з продуктивністю 2...5 кг/год. залежно від режимів роботи та типу сировини. Габаритні розміри преса 410×160×305 мм, маса – приблизно 9 кг. Номінальна споживана потужність не перевищує 650 Вт при змінній напрузі 220 В і частоті 50 Гц.

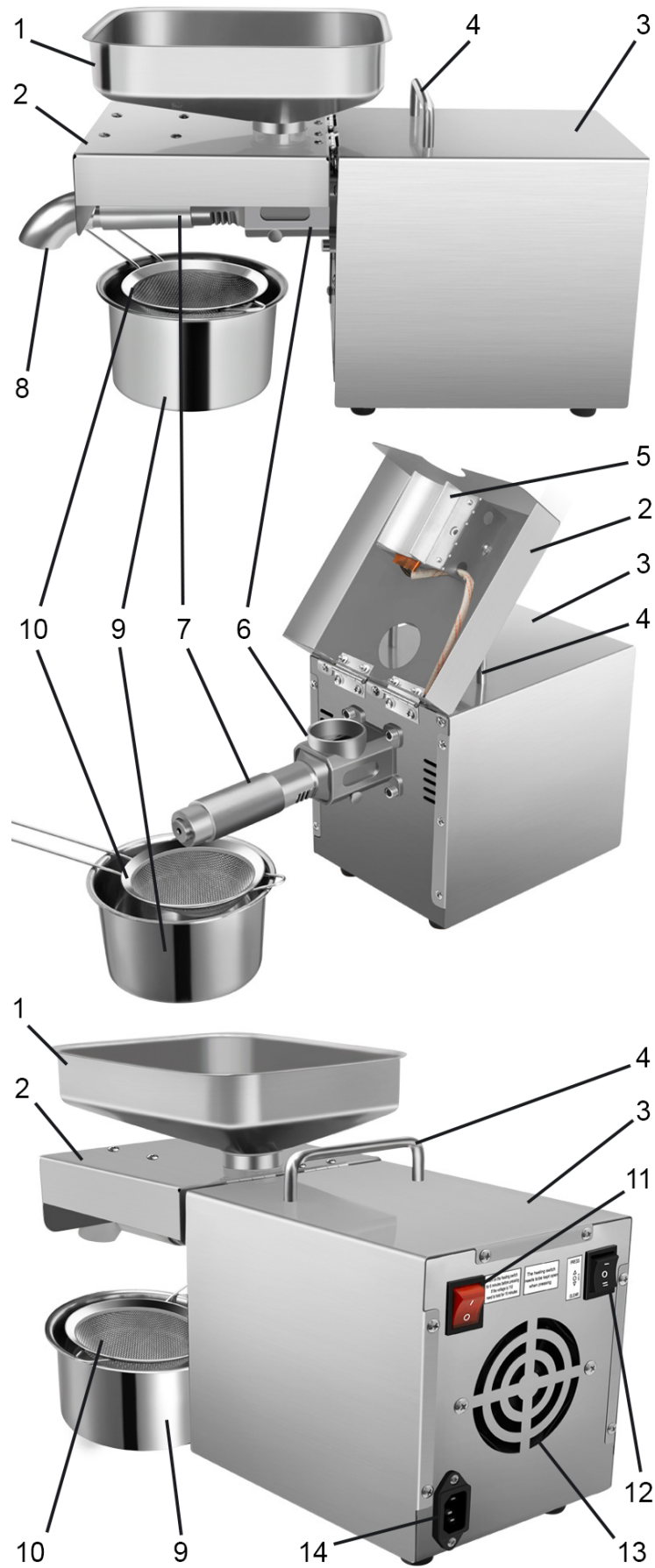


Рис. 2.3 Загальний вигляд шнекового преса

Резервуар 1 призначений для завантаження насінням. Нижній розвантажувальний циліндричний отвір резервуару встановлено в камері транспортування 6. Остання з'єднана з камерою пресування 7, в якій відбувається витискання олії та утворення макухи. Патрубок 8 призначений для вивантаження макухи з камери пресування 7 і подальшої подачі її в чашу (ящики, мішки або пакети).

Витиснена олія потрапляє в чашу 9 і попередньо фільтрується через сито 10. Корпус преса 3 оснащений ручкою 4, що дозволяє легко переносити конструкцію. Плоска рама 2 з'єднана з корпусом преса 3, і на ній розташований електронагрівальний елемент 5. Рама притискає його до циліндричної поверхні камери пресування.

Камера пресування має бути достатньо розігріта перед початком роботи для підвищення ефективності процесу витискання олії. Температура попереднього нагріву залежить від типу пресованого насіння. Двопозиційний перемикач 11 подає напругу на нагрівач перед початком процесу витискання олії протягом технологічно встановленого часу.

Для запуску процесу необхідно перевести перемикач 12 у положення «I». Якщо необхідно зупинити машину, на перемикачі слід вибрати положення «0». У разі, коли необхідно виконати операцію очищення шнека, користувач повинен перевести перемикач в положення «II», таким чином буде запущений реверсивний рух валу приводного двигуна.

Вентиляційні отвори 13 слугують для примусової подачі охолодженого повітря всередину корпусу преса 3, в якому встановлено систему приводу і керування пресом.

Розглянутий прес призначений для витискання олії з таких видів насіння як: арахіс, кунжут, ріпак, соняшник, мигдаль, льон, гірчиця, волоський горіх, перила, соя, конопля та ін. (див. рис. 2.4).



Рис. 2.4 Основні види насіння

Відповідно до документації виробника [69] орієнтовні показники відсотку витисненої олії та продуктивності переробки матеріалу розглянутим шнековим пресом для деяких видів насіння наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Основні характеристики продуктивності преса LiangTai LTP200

Тип насіння	Відсоток витискання олії	Продуктивність обробки матеріалів
Арахіс	39...45%	2.27...3.63 кг/год
Ріпак	30...39%	3.63...4.54 кг/год
Соняшник	41...52%	3.18...4.54 кг/год
Білий кунжут	39...52%	3.63...4.54 кг/год
Чорний кунжут	44...53%	3.63...4.54 кг/год
Волоський горіх	58...68%	2.27...3.18 кг/год
Мигдаль	48...57%	2.27...3.18 кг/год
Насіння льону	31...39%	3.63...4.54 кг/год
Перила	30...42%	3.63...4.54 кг/год

Усі зазначені насіння та ядра потребують забезпечення різних технологічних умов, щоб максимізувати якісні та кількісні параметри вихідної олії. Тому виникає необхідність регулювання режимів роботи преса, зокрема частоти обертання шнека та температури камери пресування. Крім того, споживачу може знадобитися встановити необхідну масу вихідної олії. Всі ці завдання здатна вирішити система керування, яка буде розроблена в наступних розділах.

На базі існуючого шнекового преса було відтворено його тривимірну модель з метою розширення розуміння його функціональності та можливих покращень. Відобразивши цю модель на рис. 2.5, відмітимо штепсельний роз'єм 1, призначений для забезпечення зручного під'єднання пристрою до електричної мережі. Цей роз'єм дозволяє замінювати кабель в залежності від потреб та довжину проводу, яка обумовлена розміщенням пристрою у віддаленості від розетки. З цього роз'єму проводиться підключення до трипозиційного вимикача 2, що відповідає за реверс двигуна (реверс використовується для очищення камери пресування), а також до двопозиційного вимикача 3, призначеного для управління нагрівачем 6 камери пресування.

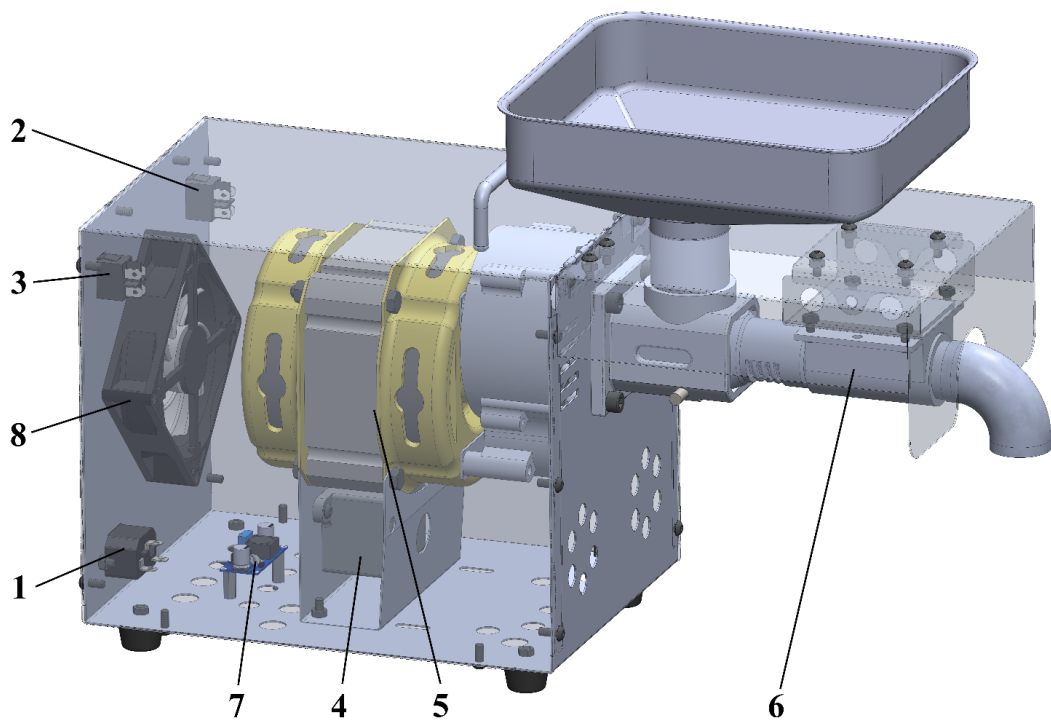


Рис. 2.5 Тривимірна модель шнекового преса

Аналізуючи схему на рис. 2.6, варто відзначити, що паралельно до вимикачів 2, 3 також підключений AC/DC перетворювач 7, який перетворює змінну напругу 230 В з мережі в постійну напругу 12 В для живлення вентилятора 8, який використовується для охолодження мотор-редуктора, так як його конструкція не передбачає штатної крильчатки для обдуву.

Використання напруги саме в 12 В забезпечує максимально допустимі оберти вентилятора, а як наслідок максимальну продуктивність роботи. Однак, таке під'єднання перетворювача напруги до мережі призводить до того, що вентилятор працює безперервно при підключенні преса до мережі, що є суттєвим недоліком даної схеми.

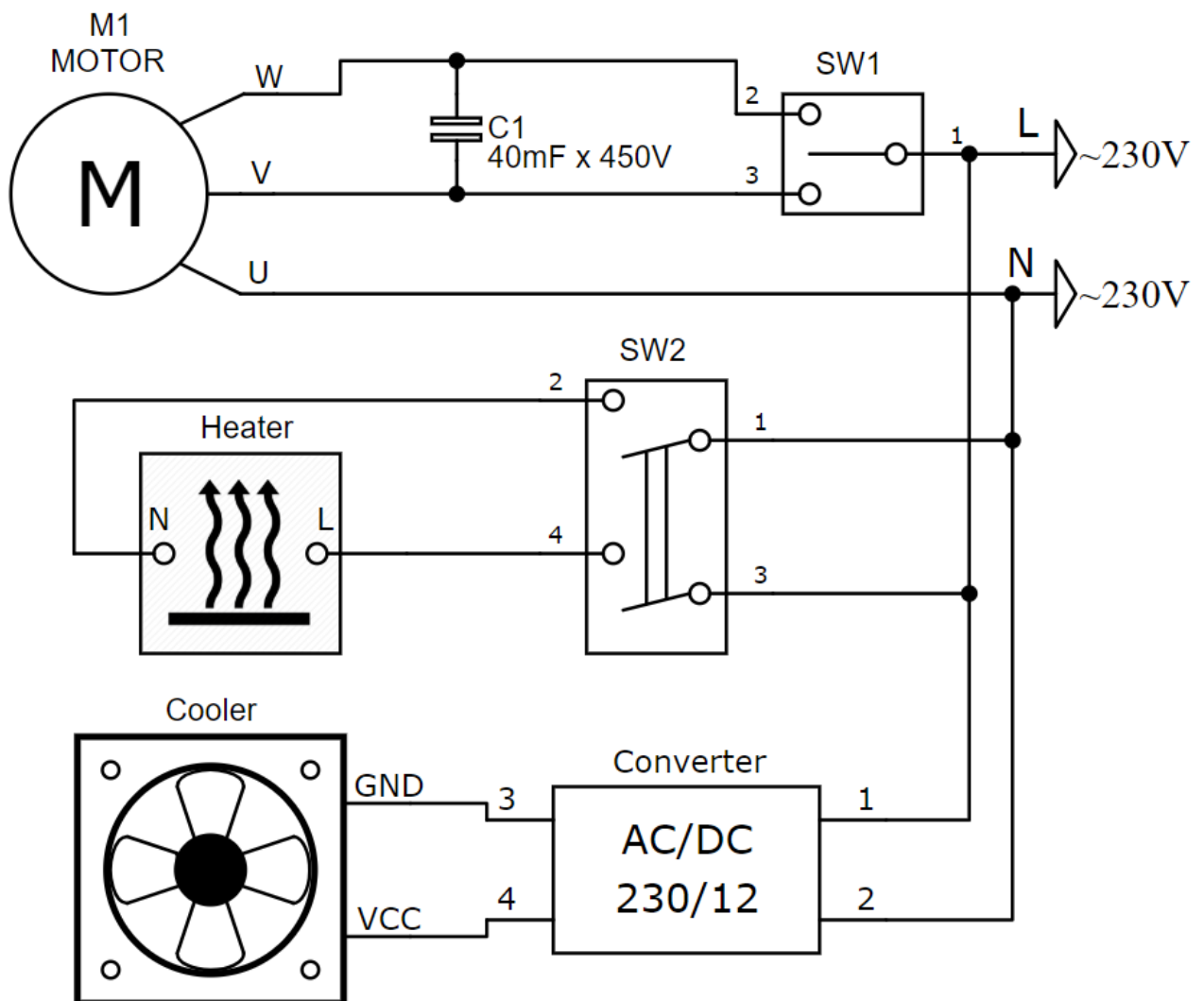


Рис. 2.6 Схема електрична принципова шнекового преса

Установка використовує трифазний асинхронний двигун 5, однак його підключаємо до однофазної мережі. Для цього використовується конденсатор 4, що забезпечує необхідний фазовий зсув у системі, що дозволяє створити обертовий момент, необхідний для роботи двигуна. Розмір та характеристики конденсатора обираються з урахуванням потужності двигуна та характеристик електричної мережі. Неправильно підібраний конденсатор може призвести до неправильної роботи двигуна, його перегріву або навіть пошкодження. Тому важливо дотримуватися відповідних стандартів і рекомендацій при виборі та встановленні конденсатора для підключення двигуна до однофазної мережі.

2.3. Встановлення основних керованих критеріїв, які визначають ефективність процесу витискання олії

Враховуючи необхідність витиснення олії з різних видів насіння, система керування повинна забезпечувати різні технологічні параметри. Різні типи насіння мають різні фізичні характеристики, вміст олії, структуру та склад, тому параметри ефективності процесу можуть відрізнятися. Встановлення керованих критеріїв для кожного конкретного типу насіння допомагає забезпечити оптимальні умови витискання олії з урахуванням його особливостей. Під час роботи преса необхідно контролювати такі параметри:

1. Частоту обертання шнека. Це дозволить досягти оптимального витиску олії з сировини, зменшити споживання енергії та уникнути перегріву сировини.
2. Температуру камери пресування. Правильна температура допомагає зберегти якість олії, уникнути перегріву або підтримати оптимальну в'язкість сировини.
3. Температуру витисненої олії. Правильна температура допомагає зберегти корисні властивості олії, уникнути окислення та зберегти природний смак і аромат.
4. Температуру приводного електродвигуна. Контроль температури приводного електродвигуна важливий для забезпечення стабільності

його роботи і попередження перегріву. Правильна температура допомагає зберегти ефективність електродвигуна і підвищує надійність всього процесу витискання.

5. Маса олії. Контроль маси витисненої олії є важливим для забезпечення точності і ефективності виробництва. Це дозволяє виміряти рівень виходу олії з сировини і оптимізувати виробничі процеси для досягнення бажаних результатів.
6. Споживаний струм. Контроль споживаного дозволить ефективно відслідковувати роботу електродвигуна. Це допомагає виявляти аномалії, такі як перевищення нормального споживання, що може свідчити про проблеми з обладнанням або неефективність процесу, і сприяє забезпеченню стабільності та надійності витискання олії.
7. Напругу двигуна. Стабільна контрольована напруга допомагає запобігти перевантаженню двигуна у процесі роботи.

Виходячи з технологічних вимог і рекомендацій, номінальна температура камери пресування і частота обертання шнека повинні залежати від виду насіння, яке пресується. Оптимальні параметри роботи преса дозволяють забезпечити найкращі якісні та кількісні показники витисненої олії.

Система керування шнековим пресом повинна забезпечувати можливість регулювання частоти обертання шнека та температури камери пресування. Крім того, температура електродвигуна і споживаний струм повинні бути обмежені, щоб запобігти пошкодженню приводу. Останнє може виникнути у випадку, коли гвинт заклинило.

Залежно від маси олії, необхідної споживачеві, система керування повинна зупинити процес пресування, коли буде досягнута необхідна маса. Зазначені температури можуть бути обмежені шляхом застосування додаткових кулерів для здійснення охолодження з регульованою частотою обертання в залежності від значення температури.

2.4. Обґрунтування логіки роботи шнекового преса та розроблення відповідної блок-схеми і програми керування

Загальний алгоритм роботи системи керування описано блок-схемою, яку наведено на рис. 2.7.

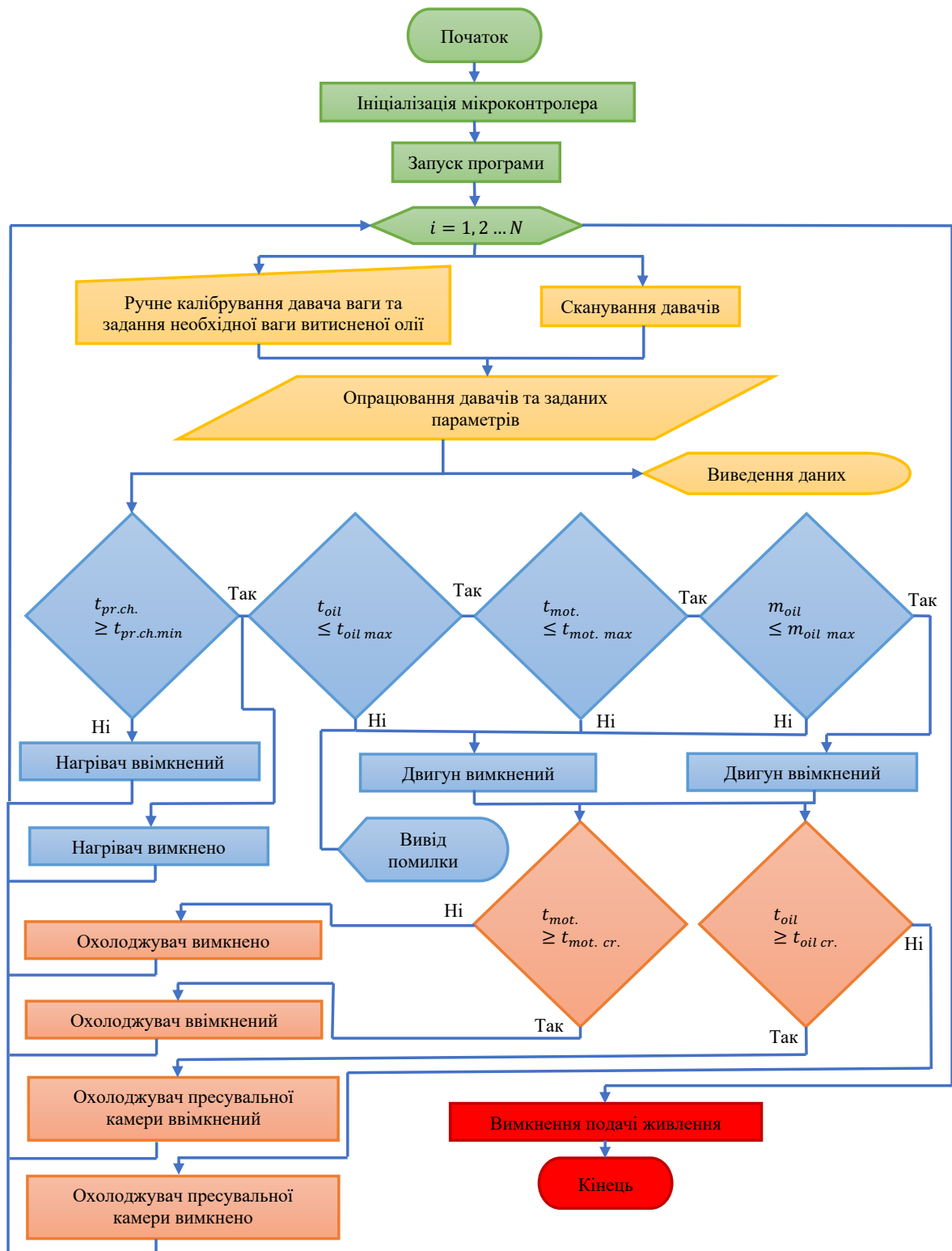


Рис. 2.7 Блок-схема загального алгоритму роботи системи керування

Після подачі живлення на пристрій відповідні датчики реєструють температуру $t_{pr.ch.}$ пресувальної камери шнеку, масу m_{oil} олії в чаші, температуру t_{oil} олії всередині чаші, температуру $t_{mot.}$ електродвигуна, а також напругу та струму, споживані системою керування та електроприводом.

Перед початком роботи датчик маси автоматично обнулений, проте після встановлення тари, його необхідно відкалібрувати та скинути значення маси на нуль. Потім споживач (рис. 2.8) повинен вибрати необхідну масу $m_{oil max}$ олії, що витискається.

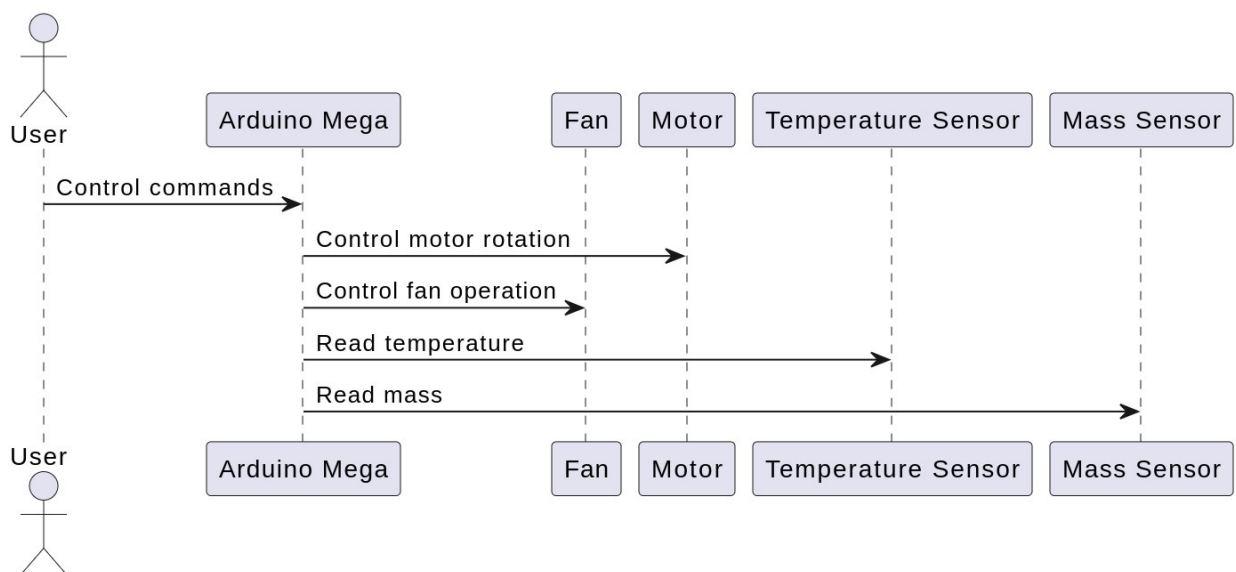


Рис.2.8 UML діаграма взаємодії споживача з шнековим пресом

За замовчуванням система запрограмована на відтискання 100 г олії. Після цього споживач натискає кнопку «ПУСК» і нагрівач починає прогрівати пресувальну камеру до температури $t_{mot. cr.}$, яка залежить від типу насіння та технологічних вимог. Ця температура реєструється відповідним датчиком. У момент, коли температура досягає необхідного значення, система керування вимикає нагрівач і запускає електродвигун на номінальних параметрах. У цьому випадку частота обертання валу двигуна і шнека приймають максимальні значення, і відбувається процес витискання олії. Коли температура двигуна досягає критичного значення $t_{mot. max}$, встановленого виробником, автоматично

вмикається відповідний вентилятор охолоджувач який працює на максимальних обертах, щоб обмежити зростання температури.

Другий давач використовується для реєстрації температури t_{oil} олії, що витискається. В програмі керування встановлено діапазон ввімкнення та регулювання обертів вентилятора в залежності від температури олії. Коли температура олії перевищує технологічно задане значення $t_{oil. cr.}$, відповідний вентилятор починає працювати із заданою частотою (інтенсивністю охолодження).

Якщо температура олії продовжує зростати, необхідно збільшити інтенсивність охолодження до максимальної продуктивності і зменшити частоту обертання шнека. Це дозволяє обмежити перегрів олії, що негативно позначається на її якісних характеристиках.

Коли температури олії або двигуна досягають максимально допустимих значень $t_{oil max}$ або $t_{mot. max}$, відповідно, система керування припиняє процес витискання. Такі ж алгоритми виконуються у випадку, коли давач маси реєструє задану споживачем масу олії $m_{oil max}$ або коли маса олії не змінюється протягом заданого періоду часу. Останнє означає, що немає насіння для витискання або що камера пресування наповнена макухою.

Процес зупинки супроводжується звуковим сигналом і описом помилки, що відображається на дисплеї. Після кожної зупинки система керування забезпечує реверсивний рух шнека для очищення камери пресування. Додатково реверсивне обертання шнека можна забезпечити натисканням кнопки «РЕВЕРС». У будь-який момент часу, зокрема, коли виникає аварійна ситуація, відповідна кнопка «СТОП» повинна бути натиснута споживачем.

Процеси пуску і зупинки відбуваються безперервно відповідно до запрограмованого алгоритму за рахунок використання частотного перетворювача. Частотний перетворювач додатково забезпечує можливість обмеження максимального струму споживання електродвигуна, а також управління частотами обертання валу двигуна при різних режимах роботи (пряме та реверсивне обертання).

2.5. Формування функціональної схеми системи керування та підбір обладнання

Для опису загальних особливостей роботи запропонованої системи керування шнековим пресом розроблено її функціональну схему (рис. 2.9).

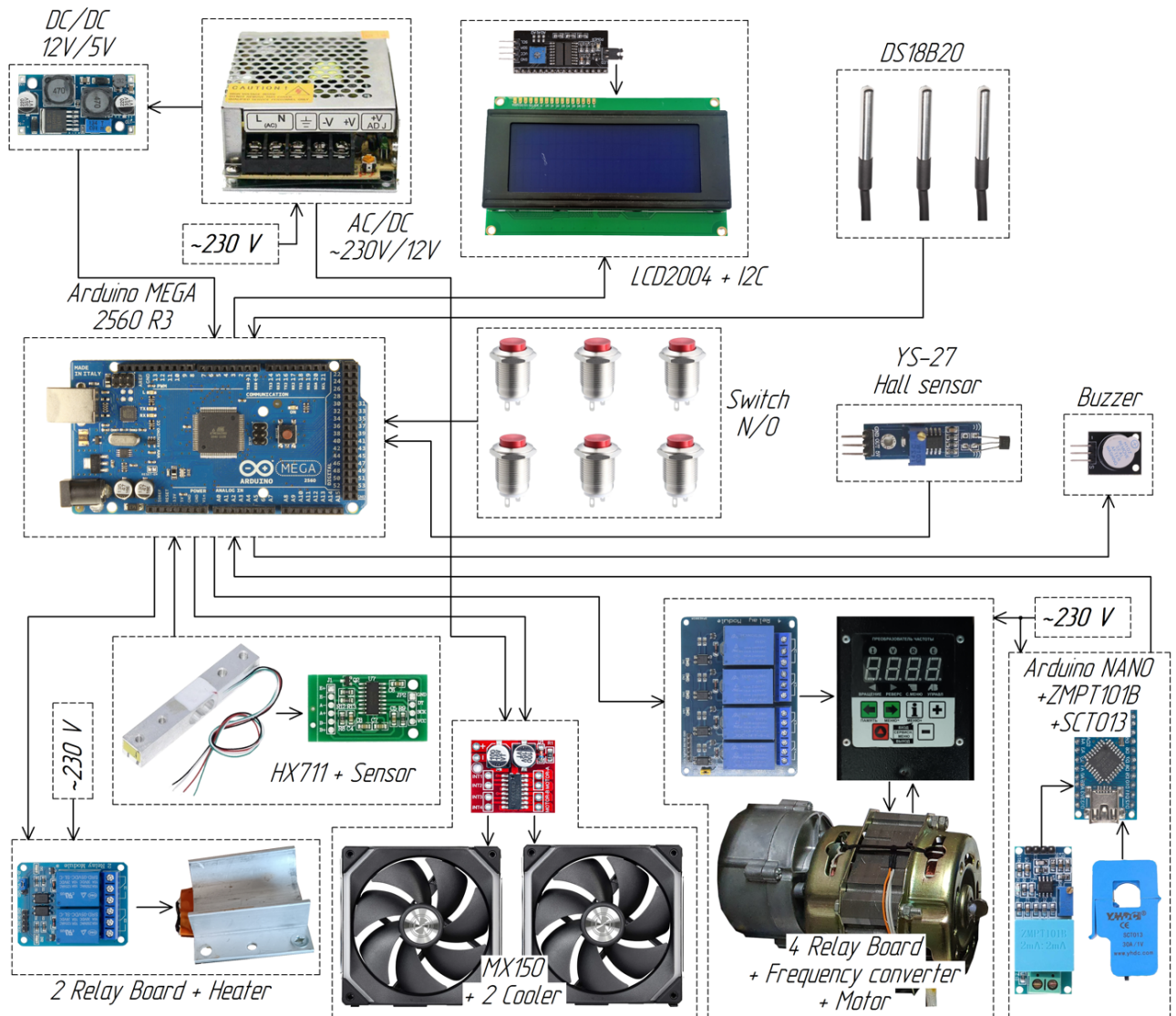


Рис. 2.9 Функціональна схема системи керування.

Для керування системою використовується мікроконтролер Arduino Mega 2560 R3 [70, 71]. Arduino Mega 2560 - це універсальна платформа для розробки складних програм порівняно з іншими платами Arduino. Вона використовує мікроконтролер ATmega2560 з тактовою частотою 16 МГц, Flash пам'яттю в 256 кбайт, 4кбайтами EEPROM та 8кбайт SRAM.

Характеристики Arduino Mega:

- 54 цифрових входів/виходів: Ці піни можуть бути налаштовані як цифрові входи або виходи, що дозволяє взаємодіяти з різноманітними зовнішніми компонентами та пристроями;

- 16 аналогових входів: Ці входи дозволяють платі зчитувати аналогові сигнали від датчиків або інших пристроїв, перетворюючи їх у цифрові значення для подальшої обробки мікроконтролером;

- 4 UART (апаратні послідовні порти): Mega 2560 має кілька портів UART для зручного з'єднання з іншими пристроями через послідовний інтерфейс, такими як датчі, дисплеї або інші мікроконтролери;

- USB-з'єднання: Наявність USB-порту дозволяє програмувати плату та обмінюватися даними з підключеним комп'ютером. Це спрощує завантаження програм та комунікацію з платою;

- Роз'єм живлення: За допомогою роз'єму живлення плату можна живити від зовнішнього джерела живлення (зазвичай 7-12 В), що забезпечує гнучкість у способі живлення плати;

- ICSP: In-Circuit Serial Programming (ICSP) дозволяє прямо програмувати мікроконтролер зовнішнім програматором, що дозволяє користувачам налаштовувати та програмувати плату;

- Кнопка скидання (reset): Кнопка скидання перезавантажує мікроконтролер, що дозволяє легко перезавантажувати плату під час розробки або тестування.

Ці характеристики роблять Arduino Mega 2560 ідеальним вибором для проектів, які вимагають великої кількості входів/виходів, аналогових сенсорів та складних комунікаційних завдань. Його універсальність та можливості розширення роблять його популярним серед ентузіастів, студентів та професіоналів, що працюють над вбудованими системами та застосуваннями Інтернету речей (IoT).

Впроваджено шість перемикачів N/O (з нормально відкритим контактом) для ручного запуску системи та налаштування контрольованих параметрів.

Перші три кнопки відповідають за зупинку, запуск і реверсний тип обертання шнекового валу, а наступні три кнопки використовуються для регулювання маси витисненої олії, а саме: додати 10 грамів, відняти 10 грамів і скинути значення маси на нуль (тарування).

Живлення здійснюється завдяки блоку живлення 36W 12V OV-R12-3A який змінює напругу змінного струму 230 В на постійну напругу 12 В.

Блок живлення 36W 12V OV-R12-3A має такі характеристики [72]:

- $U_{вх.}$: 110...240 В;
- $U_{вих.}$, V: 12 В;
- $I_{вих.}$, А: 3 А;
- $P_{макс.}$, W: 36 Ват;
- Габарити: 110x78x38 мм.

Мікроконтролер живиться від DC/DC адаптера XL6009, який знижує напругу з 12 В до 5 В. Основні особливості DC/DC адаптера XL6009 включають [73]:

- Широкий діапазон вхідної напруги від 5 В до 32 В;
- Можливість програмування позитивної або негативної вихідної напруги;
- Режим керування струмом;
- Фіксована частота перемикання 400 кГц;
- Максимальний струм перемикання до 4 А;
- Вбудований захист від перенапруги на виводі SW;
- Висока ефективність до 94%;
- Вбудована компенсація частоти;
- Вбудована функція м'якого старту;
- Вбудована функція захисту від перегріву;
- Вбудована функція обмеження струму.

Перетворювач постійного струму також забезпечує живлення вентиляторів (охолодження) через драйвер MX1508, керований платою Arduino Mega. Драйвер керування двигуном MX1508 - це мініатюрний двоканальний модуль керування що є альтернативою до L298 або L298N, має захист від перегріву та автоматичне відновлення роботи після захисту [74].

- Напруга живлення: 2 В – 12 В;
- Вхідна напруга сигналу: 1.8 В – 7 В;
- Робочий струм: 1.5 А;
- Піковий струм: 2.5 А;
- Розміри: 24.7 x 21 x 7 мм.

Параметри, що регулюються, відображаються на дисплеї LCD2004, підключеному через модуль I2C. LCD екран має 20 символів та 4 рядки, керування здійснюють по шині I2C (TWI, IIC), що надає зручність при нестачі вільних виводів на Arduino, достатньо підключити два контакти і можна повністю керувати дисплеєм [75].

Характеристики:

- I2C адреса 0x27 або 0x3f (в залежності від версії I2C адаптера);
- контролер конвертера I2C: PCF8574A;
- кількість символів в рядку: 20;
- кількість рядків: 4;
- підтримка кирилиці: відсутня;
- колір фону - синій, колір символів – білий;
- контраст налаштовується змінним резистором зі зворотного боку плати;
- живлення: 5 В;
- розміри точки: 0.55 x 0.55 мм;
- крок точки: 0.60 x 0.60 мм;
- розміри символу: 2.96 x 4.75 мм;

- крок символів: 3.55 x 5.35 мм;
- розміри: 98 x 60 x 20 мм.

Реалізовано набір датчиків для постійного моніторингу робочих параметрів. Датчик температури DS18B20 використовується для контролю характеристик нагріву камери пресування, приводного двигуна та витисненої олії. DS18B20 - цифровий датчик для виміру температури з високою роздільною здатністю (9-12 біт) [76]. Інформація передається через інтерфейс 1-Wire, що дозволяє підключати кілька датчиків до одного проводу. Кожен DS18B20 має унікальний номер, що дозволяє використовувати датчики у різних місцях, та має наступні характеристики:

- Унікальний інтерфейс 1-Wire вимагає лише один порт для зв'язку;
- Не потребує зовнішніх компонентів;
- Може живитися від лінії передачі даних. Діапазон живлення від 3,0 В до 5,5 В;
- Вимірює температуру від -55°C . до $+125^{\circ}\text{C}$.;
- Точність $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. від -10°C . до $+85^{\circ}\text{C}$.;
- Перетворює 12-бітну температуру в цифрове значення за 750 мс (макс.).

Модуль датчика Холла YS-27 оснащений датчиком магнітного поля на ефекті Холла з регульованою чутливістю та мікросхемою компаратора напруги для створення чистого цифрового вихідного сигналу.

Плату вихідного перемикача можна підключити безпосередньо до контактів введення/виведення мікроконтролера [77]. Модуль датчика Холла використовується для визначення кутової швидкості приводного валу.

Характеристики:

- Мікросхема: датчик Холла А3144;
- Мікросхема компаратора напруги: LM393;
- Робоча напруга: 5 В;

- Індикатор вихідного сигналу;
- Регульована чутливість;
- Розмір: 32 x 20 x 11 мм.

Тензометричний давач підключений через модуль HX711, контролює масу витисненої олії [78], та має такі характеристики [79]:

- Вихід зміни сили: сигнал напруги;
- Діапазон робочої напруги: від 2,6 В до 5 В;
- Діапазон робочих температур: від -20 до + 85 °С;
- Споживана потужність (включаючи схему живлення): типовий робочий струм: <1,7 мА, струм відключення: <1 μА;
- Швидкість вихідних даних HX711: 10 Гц або 80 Гц;
- Модуль має два входи аналогового каналу, програмований коефіцієнт посилення 128 вбудованого підсилювача;
- Використовує двопровідний зв'язок;
- Максимальна вага до 1 кг (тензометричний давач) ;
- Сумісний з Arduino;
- Розмір: 12,7 x 12,7 x 75 мм.

Давачі SCT-013 і ZMPT101B, з'єднані з додатковим мікроконтролером Arduino Nano, реєструють зміни споживаного струму і напруги приводу преса.

Давач SCT-013-030 використовується для вимірювання струму, моніторингу та захисту двигуна змінного струму, освітлювального обладнання, повітряного компресора тощо, та має такі характеристики: [80]

- Номінальний вхідний струм: 0-30 А;
- Номінальна вихідна напруга: 0-1 В;
- Точність: ±1%;
- Лінійність: ≤0.2%;
- Коефіцієнт обертів: 1:1800;

- Робоча напруга: 660 В;
- Частота роботи: 50-1КHz;
- Робоча температура: 25..+70°C;
- Температура зберігання: -40..+85°C;

ZMPT101B - це прецизійний давач змінної напруги, який є трансформатором напруги з коефіцієнтом трансформації 1:1 [81].

Давач має високу точність, хорошу постійність для вимірювання напруги до 250 В потужності. Цей прилад можна використовувати у вимірюванні змінної напруги та струму, потужності та спожитої енергії, струму перевантаження.

Параметри модуля ZMPT101B:

- Вхідна вимірювана змінна напруга - 0-1000 В;
- Максимальна напруга пробою ізоляції - 4000 В;
- Коефіцієнт трансформації трансформатора - 1000:1000 (2 мА : 2 мА);
- Номінальний струм первинної обмотки трансформатора - 2 мА;
- Номінальний струм вторинної обмотки трансформатора - 2 мА;
- Опір обмоток трансформатора - 100 ом (при 20 °С) ;
- Опір ізоляції трансформатора - понад 100 МОм;
- Лінійність - 0,1 %;
- Клас точності - 0,2;
- Робоча частота - 50-60 Гц;
- Вихідний сигнал - аналоговий від 0 до 5 В;
- Робоча температура -40 ~ +70 °С;
- Розміри модуля - 49,5x19,4 мм.

Arduino Nano V3.0 є компактною платою, сумісною з макетними платами, що базується на мікроконтролері ATmega328. Вона має функціональність, схожу на Arduino Duemilanove/Uno, але має інший форм-фактор і використовує Mini-USB кабель замість стандартного роз'єму живлення [82].

Характеристики:

- Мікроконтролер: ATmega328P;
- Тип корпусу: TQFP-32;
- Робоча напруга: 5 В;
- Вхідна напруга (рекомендована): 7-12 В;
- Цифрових входів / виходів: 14 (з яких 6 можуть бути використані як ШІМ);
- Аналогових входів: 8;
- Сила струму на входах / виходах: 40 мА;
- Сила струму для 3.3В виходу: 50 мА;
- Пам'ять: 32 кБ з яких 2кб використовується завантажувачем;
- SRAM: 2 кБ;
- EEPROM: 1 кБ;
- Частота: 16 МГц.

На початку процесу пресування мікроконтролер Arduino Mega подає сигнал на плату реле, яка включає нагрівач, підключений до камери пресування. Коли його температура досягає необхідного значення, двигун починає обертати гвинт. Умови роботи двигуна контролюються перетворювачем частоти CFM210 [83], який, у свою чергу, регулюється мікроконтролером Arduino Mega через плату реле.

Таблиця 2 - Технічні характеристики перетворювача частоти CFM210

Живлення	Напруга живлення	220 В + 10% - 15%
	U _{вх}	
	Частота	45 – 66 Гц
Вихід	Вихідна напруга	0 – U _{вх}
	Вихідна частота	0; 1 - 800 Гц
	Похибка частоти	0.05 Гц

	Вид модуляції	Вектор напруги
	Підключення двигуна	Стандартний двигун 220/380В.
Система керування	Характеристика U/f	<ul style="list-style-type: none"> • Лінійна (пропорційна) • Квадратична • Коренева
	Частота керування силовими модулями	3 – 6 – 9 – 12 кГц
	Задання швидкості обертання	Аналоговий вхід, цифровий вхід, панель керування, потенціометр.
Входи/виходи керування	Аналоговий вхід	2 аналогові входи: <ul style="list-style-type: none"> • режим напруги: 0(2) – 10 В, $R_{in} \geq 50$ кОм; • режим струму (один із двох входів): 0(4) – 20 мА, $R_{in} \geq 220$ Ом
	Цифровий вхід	6 розділених цифрових входів: <ul style="list-style-type: none"> • активний рівень: 0 В, • неактивний стан: 20 – 24 ст. Опір $R_{in} \geq 4$ ком.
	Аналоговий вихід / вихід із відкритим колектором	один аналоговий вихід: режим струмового виходу: 0 – 1mA. Навантажувальна здатність виходу з відкритим колектором – до 2А/24В.
	Релейний вихід	два реле з перекидним контактом: комут. навантаження: 250 В/10А (АС). Повністю програмоване джерело сигналу.

Захист	<ul style="list-style-type: none"> • від короткого замикання; • від міжфазного замикання; • від перегріву ПЧ 	
--------	---	--

Модуль реле може керуватися безпосередньо з виводів мікроконтролера (Arduino). Максимальний струм навантаження 10 А при напрузі 250 В [84].

- Кожному реле необхідно 15-20 мА для спрацьовування і напруга живлення модуля 5 В;
- 5 В TTL керуючий вхід, який може бути поданий безпосередньо з виходу мікроконтролера;
- комутування навантаження 10 А при 250 В;
- розміри 75 x 55 x 18 мм.

Коли температура двигуна або камери пресування перевищує встановлені значення, активується відповідний охолоджувач, поки температура не знизиться. Будь-яка помилка в роботі (перегрів пресової камери, приводного двигуна або витисненої олії, перевантаження шнекового валу, досягнення необхідної маси витисненої олії тощо) супроводжується аварійною зупинкою системи, про що сповіщає сигнал зумера (напруга живлення: 3...5 В [85]) і повідомляється на дисплеї LCD2004

Висновки до розділу

Дослідження процесу витискання рослинних олій відображає глибокий аналіз технологічного процесу та можливостей його автоматизації. Огляд шнекового преса дозволяє зрозуміти основні принципи його роботи та потенційні можливості для впровадження автоматизованого керування. У цьому розділі було розглянуто і описано різні види конструкцій шнекового пресу: форпреси та експелери, одношнекові і двошнекові преси. Використання того чи

іншого пресу залежить від характеристик сировини, масштабів виробництва, бюджету і вимог до якості олії. Проаналізовано конструкцію малогабаритного шнекового преса LiangTai LTP200, та його технічні характеристики. На основі цього побудовано тривимірну модель, що дало змогу розширити розуміння функціональності та оцінити можливі напрямки оптимізації та автоматизації його роботи. Щоб оптимізація та автоматизація стали можливими, перш за все виникла необхідність встановити критерії, що визначатимуть ефективність процесу витискання олії. Такими критеріями стали:

1. Частота обертання шнека.
2. Температура камери пресування.
3. Температура витисненої олії.
4. Температура приводного електродвигуна.
5. Маса олії.
6. Споживаний струм.
7. Напругу двигуна.

Обґрунтовано логіку роботи шнекового преса та розроблено відповідну блок-схему процесу.

Формування функціональної схеми системи керування та підбір відповідного обладнання відображають стратегічне планування реалізації автоматизації процесу, враховуючи технічні та функціональні вимоги до системи керування. Функціональна схема включає такі елементи: мікроконтролер Arduino Mega 2560 R3, перемикачі для ручного запуску системи та налаштування контрольованих параметрів, блок живлення 36W 12V OV-R12-3A, DC/DC адаптер XL6009, драйвер MX1508, дисплей, набір датчиків для постійного моніторингу робочих параметрів, плату Arduino Nano V3.0 та перетворювач частоти CFM210. Ці дослідження мають велике значення для розвитку і вдосконалення технологічних процесів виробництва рослинних олій, спрямовуючи зусилля на оптимізацію ефективності, зниження витрат і підвищення якості виготовленої продукції.

РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНЕ ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПРЕСА

3.1. Формування математичної моделі процесу пресування

Робоча камера шнекового преса LiangTai LTP200 для витискання рослинної олії показана на рис. 3.1. Вона складається з корпусу 1, шнекового валу 2, горловини для завантаження сировини 3, зерного (формувального) циліндра 4 з отворами 5 для виходу олії, і конічного отвору 6 для виходу макухи. Насіння завантажують через горловину 3 до перших трьох витків шнекового валу. Потім за рахунок дії сил тертя, що виникають між зовнішніми поверхнями витків шнека 2 і внутрішніми поверхнями формувального циліндра 4, утворюється сила протидії, необхідна для руйнування і подрібнення насіння. Після цього подрібнений матеріал подається в зону виходу олії, що характеризується підвищеним тиском за рахунок сил протидії, які виникають на внутрішніх поверхнях конічного отвору 6, та за рахунок збільшення діаметра вала шнека (внутрішнього діаметра витків), що зумовлює зменшення площі перерізу гвинтового каналу та додаткове стискання пресованого матеріалу.

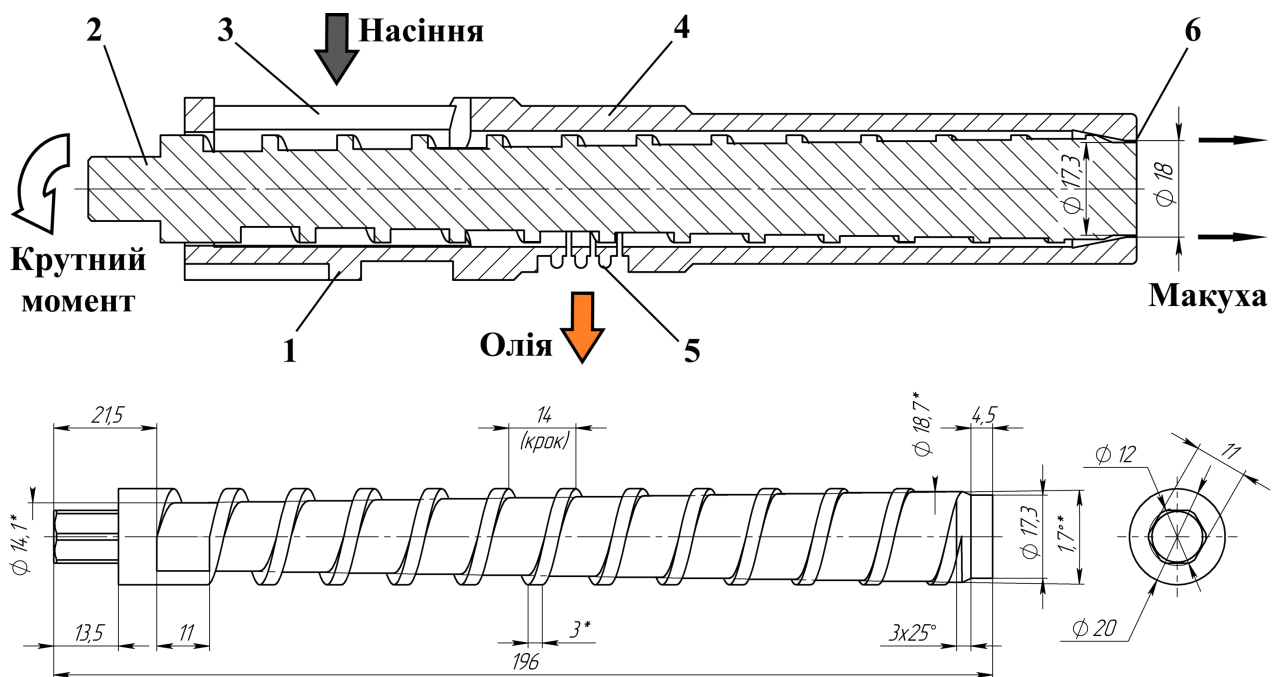


Рис. 3.1. Загальний вигляд робочої камери та геометричні параметри шнека

Проаналізуємо окремі геометричні параметри шнека та робочої камери преса LiangTai LTP200 [86]. Відповідні розрахунки будемо проводити згідно методики, наведеної у [87]. Площа торцевого перерізу каналу робочої камери, перпендикулярного до поздовжньої осі шнека та віддаленого на відстань x від його лівого кінця, де починаються гвинтові витки:

$$A_1(x) = \left(\frac{D_{зовн.}^2}{8} - \frac{d_{внутр.}^2(x)}{8} \right) \cdot d\varphi =$$

$$= \left(\frac{D_{зовн.}^2}{8} - \frac{\left(d_{\min} + \frac{d_{\max} - d_{\min}}{L} \cdot x \right)^2}{8} \right) \cdot d\varphi. \quad (3.1)$$

де $D_{зовн.}$ – зовнішній діаметр витка шнека;

$d_{внутр.}$ – внутрішній діаметр витка шнека (діаметр валу шнека, на якому нанесено гвинтові витки). Даний параметр лінійно змінюється за довжиною шнека, тому є функцією координати x : $d_{внутр.}(x) = d_{\min} + \frac{d_{\max} - d_{\min}}{L} \cdot x$, $x \in \overline{0, L}$.

φ – кут повороту гвинтової лінії шнека навколо його поздовжньої осі;

d_{\min} – мінімальне значення внутрішнього діаметра витка, тобто найменший діаметр валу шнека на його лівому кінці (в зоні засипної горловини);

d_{\max} – максимальне значення внутрішнього діаметра витка, тобто найбільший діаметр валу шнека на його правому кінці (в зоні отвору для виходу макухи);

L – загальна довжина валу шнека, на якій нанесені гвинтові витки.

Площа активної поверхні витка, яка контактує з пресованим матеріалом:

$$A_2(x) = \frac{A_1(x)}{\cos \alpha} = \left(\frac{D_{зовн.}^2}{8} - \frac{\left(d_{\min} + \frac{d_{\max} - d_{\min}}{L} \cdot x \right)^2}{8} \right) \cdot \frac{d\varphi}{\cos \alpha}, \quad (3.2)$$

де α – кут нахилу гвинтової лінії витків шнека відносно його торця (площини, перпендикулярної до осі шнека).

Площа внутрішньої поверхні формувального циліндра, по якій здійснюється його контакт із пресованим матеріалом:

$$A_3 = \frac{D_{зовн.}}{2} \cdot h_1 \cdot d\varphi = \frac{D_{зовн.}}{2} \cdot (h - b) \cdot d\varphi, \quad (3.3)$$

де $h_1 = h - b$ – найменша відстань між двома послідовними витками шнека;

h – крок гвинта шнека;

b – товщина гвинтового витка.

Площа поперечного перерізу робочого каналу шнека:

$$\begin{aligned} A_4(x) &= H(x) \cdot h_1 \cdot \cos \alpha = \frac{D_{зовн.} - d_{внутр.}(x)}{2} \cdot (h - b) \cdot \cos \alpha = \\ &= \frac{D_{зовн.} - \left(d_{\min} + \frac{d_{\max} - d_{\min}}{L} \cdot x \right)}{2} \cdot (h - b) \cdot \cos \alpha, \end{aligned} \quad (3.4)$$

де $H(x) = \frac{D_{зовн.} - d_{внутр.}(x)}{2} = \frac{D_{зовн.} - \left(d_{\min} + \frac{d_{\max} - d_{\min}}{L} \cdot x \right)}{2}$ – глибина

робочого каналу шнека у його поперечному перерізі, віддаленому на відстань x від його лівого кінця, де починаються гвинтові витки.

Наведені розрахункові формули (3.1)–(3.4) для визначення геометричних параметрів гвинтового каналу шнека, які наведені як функції кута φ , що визначає величину сегмента круга поперечного перерізу шнека, в подальшому будуть використані для аналізу залежності тиску матеріалу вздовж осі шнека, навантаження (моменту опору) на привідному валу шнека, продуктивності процесу пресування, споживної потужності приводу тощо.

Одним з основних параметрів, що характеризують процес пресування, є кінцевий вихід олії, тобто продуктивність.

У загальному випадку продуктивність шнекового пресу можна визначити за наступною формулою:

$$Q = \xi \cdot \rho_n \cdot V_{завант.} \cdot \omega, \quad (3.5)$$

де ρ_n – густина (насіпна щільність, об’ємна маса) пресованого матеріалу;

$V_{завант.}$ – загальний об’єм витків під завантажувальною горловиною;

ξ – коефіцієнт заповнення витків шнека в процесі завантаження насіння;

ω – кутова швидкість шнека.

Враховуючи той факт, що з горловини насіння засипається одночасно приблизно у три витки, то максимальний об’єм завантаження становить:

$$\begin{aligned} V_{завант.} &= \int_0^{(h-b)} \int_0^{2\pi} A_2(x) dx + \int_h^{(2h-b)} \int_0^{2\pi} A_2(x) dx + \int_{2h}^{(3h-b)} \int_0^{2\pi} A_2(x) dx = \\ &= \left(D_{зовн.}^2 \cdot (h-b) - \frac{L \cdot \left(\left(d_{\min} + \frac{(d_{\max} - d_{\min}) \cdot (h-b)}{L} \right)^3 - d_{\min}^3 \right)}{3 \cdot (d_{\max} - d_{\min})} \right) \cdot \frac{\pi}{4 \cos \alpha} + \\ &+ \left(D_{зовн.}^2 \cdot (h-b) - \frac{L \cdot \left(\left(d_{\min} + \frac{(d_{\max} - d_{\min}) \cdot (2h-b)}{L} \right)^3 - \left(d_{\min} + \frac{(d_{\max} - d_{\min}) \cdot h}{L} \right)^3 \right)}{3 \cdot (d_{\max} - d_{\min})} \right) \cdot \frac{\pi}{4 \cos \alpha} + \\ &+ \left(D_{зовн.}^2 \cdot (h-b) - \frac{L \cdot \left(\left(d_{\min} + \frac{(d_{\max} - d_{\min}) \cdot (3h-b)}{L} \right)^3 - \left(d_{\min} + \frac{(d_{\max} - d_{\min}) \cdot 2h}{L} \right)^3 \right)}{3 \cdot (d_{\max} - d_{\min})} \right) \cdot \frac{\pi}{4 \cos \alpha} = \\ &= \frac{\pi \cdot (h-b)}{4 \cdot L^2 \cdot \cos \alpha} \cdot \begin{pmatrix} 3 \cdot (D_{зовн.} - d_{\min}) \cdot (D_{зовн.} + d_{\min}) \cdot L^2 - \\ - 3 \cdot (d_{\max} - d_{\min}) \cdot d_{\min} \cdot (3h-b) \cdot L - \\ - (d_{\max} - d_{\min})^2 \cdot (9 \cdot h^2 - 5 \cdot b \cdot h + b^2) \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Беручи до уваги той факт, що маса вхідної порції насіння повинна бути рівною сумарній масі витиснутої олії і макухи, можемо записати:

$$\rho_n \cdot \xi \cdot V_{завант.} = \rho_m \cdot V_m + \rho_{ол.} \cdot V_{ол.}, \quad (3.7)$$

де $\rho_m, \rho_{ол.}$ – густина (об’ємна маса) макухи та олії, відповідно;

$V_m, V_{ол.}$ – об’єми макухи та олії, відповідно, отримані в результаті пресування.

Прийнявши до уваги той факт, що олія не здатна стискатися, та ввівши коефіцієнт ζ зміни об’єму оброблюваного насіння в процесі пресування, можемо записати наступну залежність:

$$\zeta \cdot \xi \cdot V_{завант.} = V_m + V_{ол.} \quad (3.8)$$

Таким чином, на основі залежностей (3.7) і (3.8), можемо вивести співвідношення між об’ємом початково завантаженого насіння та об’ємами макухи й олії:

$$\begin{aligned} V_{ол.} &= \frac{\zeta \cdot \rho_m - \rho_n}{\rho_m - \rho_{ол.}} \cdot \xi \cdot V_{завант.}; \\ V_m &= \frac{\rho_n - \zeta \cdot \rho_{ол.}}{\rho_m - \rho_{ол.}} \cdot \xi \cdot V_{завант.} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Згідно закону збереження маси макухи на виході з пресувальної камери, отримаємо наступну залежність:

$$\omega \cdot (V_m + \psi \cdot V_{ол.}) = \nu \cdot A_{р.отв.} \cdot \eta, \quad (3.10)$$

де ψ – коефіцієнт, що характеризує залишок олії в макусі;

ν – швидкість виходу макухи з пресувальної камери;

$A_{p. отв.}$ – площа розвантажувального отвору камери пресування;

η – коефіцієнт нерівномірності розподілу макухи вздовж розвантажувального отвору.

Таким чином, на основі формули (3.10) можемо знайти швидкість руху макухи вздовж розвантажувального отвору:

$$v = \frac{\omega \cdot (V_{м.} + \psi \cdot V_{ол.})}{A_{p. отв.} \cdot \eta}. \quad (3.11)$$

Площа розвантажувального отвору для даної конструкції преса становить:

$$A_{p. отв.} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{кон. л.}^2 - d_{в. шн.}^2), \quad (3.12)$$

де $D_{кон. л.}$ – мінімальний внутрішній діаметр конічної лунки розвантажувального отвору;

$d_{в. шн.}$ – зовнішній діаметр валу шнека в зоні розвантажувальної лінки.

У процесі руху макухи через розвантажувальний отвір на неї діють сила пресування $F_{прес.}$ та сила тертя $F_{т.}$, які наближено можна представити у наступному вигляді:

$$F_{прес.} = P_{розв.} \cdot A_{p. отв.} \cdot \eta; \quad (3.13)$$

$$F_{т.} = f \cdot F_{прес.} = f \cdot P_{розв.} \cdot A_{p. отв.} \cdot \eta, \quad (3.14)$$

де $P_{розв.}$ – тиск пресованого матеріалу у розвантажувальній зоні;

f – коефіцієнт тертя, який залежить від кутової швидкості шнека та фізико-механічних характеристик пресованого матеріалу [87]:

$$f = f_0 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\max}} \right)^3, \quad (3.15)$$

де f_0 – кінематичний коефіцієнт тертя макухи об стінки розвантажувального отвору за максимальної частоти обертання шнека ω_{\max} .

Маса макухи, яка витискається із розвантажувального отвору:

$$m_{\text{розв.}} = \rho_{\text{м.}} \cdot V_{\text{м.}} + \psi \cdot \rho_{\text{ол.}} \cdot V_{\text{ол.}}. \quad (3.16)$$

Запишемо загальне рівняння динаміки для процесу руху макухи через розвантажувальний отвір:

$$m_{\text{розв.}} \cdot \omega \cdot \left(\nu \cdot \eta - \frac{\omega \cdot (V_{\text{м.}} + \psi \cdot V_{\text{ол.}})}{A_{\text{розв. к.}}} \right) = F_{\text{прес.}} - F_{\text{т.}}. \quad (3.17)$$

де $A_{\text{розв. к.}}$ – активна площа поперечного перерізу пресувальної камери у зоні стискання і розвантаження макухи (на правому кінці камери):

$$A_{\text{розв. к.}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{зовн.}}^2 - d_{\text{мак.}}^2). \quad (3.18)$$

Підставивши (3.11), (3.13), (3.14), (3.16) в (3.17), матимемо:

$$\begin{aligned} & (\rho_{\text{м.}} \cdot V_{\text{м.}} + \psi \cdot \rho_{\text{ол.}} \cdot V_{\text{ол.}}) \cdot \omega \cdot \left(\frac{\omega \cdot (V_{\text{м.}} + \psi \cdot V_{\text{ол.}})}{A_{\text{р. отв.}}} - \frac{\omega \cdot (V_{\text{м.}} + \psi \cdot V_{\text{ол.}})}{A_{\text{розв. к.}}} \right) = \\ & = P_{\text{розв.}} \cdot A_{\text{р. отв.}} \cdot \eta - f \cdot P_{\text{розв.}} \cdot A_{\text{р. отв.}} \cdot \eta; \end{aligned} \quad (3.19)$$

Спростивши вираз (3.19), отримаємо:

$$\begin{aligned} & (\rho_{м.} \cdot V_{м.} + \psi \cdot \rho_{ол.} \cdot V_{ол.}) \cdot \omega^2 \cdot (V_{м.} + \psi \cdot V_{ол.}) \cdot \frac{A_{розв.к.} - A_{р.отв.}}{A_{р.отв.} \cdot A_{розв.к.}} = \\ & = P_{розв.} \cdot A_{р.отв.} \cdot \eta \cdot (1 - f). \end{aligned} \quad (3.20)$$

Формула (3.20) дозволяє вивести залежність тиску у розвантажувальній зоні від геометричних параметрів пресувальної камери і шнека, а також від експлуатаційних характеристик преса, зокрема, кутової швидкості шнека:

$$P_{розв.} = \frac{(\rho_{м.} \cdot V_{м.} + \psi \cdot \rho_{ол.} \cdot V_{ол.}) \cdot \omega^2 \cdot (V_{м.} + \psi \cdot V_{ол.}) \cdot (A_{розв.к.} - A_{р.отв.})}{A_{р.отв.}^2 \cdot A_{розв.к.} \cdot \eta \cdot (1 - f)}. \quad (3.21)$$

Беручи до уваги залежності (3.6), (3.12), (3.15), (3.18) та підставляючи їх у рівняння (3.5) і (3.21), отримаємо остаточні формули для розрахунку продуктивності преса і максимального тиску у розвантажувальній зоні

$$Q = \xi \cdot \rho_{н.} \cdot \frac{\pi \cdot (h - b)}{4 \cdot L^2 \cdot \cos \alpha} \cdot \begin{pmatrix} 3 \cdot (D_{зовн.} - d_{\min}) \cdot (D_{зовн.} + d_{\min}) \cdot L^2 - \\ - 3 \cdot (d_{\max} - d_{\min}) \cdot d_{\min} \cdot (3h - b) \cdot L - \\ - (d_{\max} - d_{\min})^2 \cdot (9 \cdot h^2 - 5 \cdot b \cdot h + b^2) \end{pmatrix} \cdot \omega; \quad (3.22)$$

$$P_{розв.} = \frac{\left[(\rho_{м.} \cdot V_{м.} + \psi \cdot \rho_{ол.} \cdot V_{ол.}) \cdot \omega^2 \cdot (V_{м.} + \psi \cdot V_{ол.}) \times \right. \\ \left. \times \frac{\pi}{4} \cdot (D_{зовн.}^2 - d_{\max}^2 - D_{кон.л.}^2 + d_{в.шн.}^2) \right]}{\frac{\pi^3}{64} \cdot (D_{кон.л.}^2 - d_{в.шн.}^2)^2 \cdot (D_{зовн.}^2 - d_{\max}^2) \cdot \eta \cdot \left(1 - f_0 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\max}} \right)^3 \right)}. \quad (3.23)$$

Нехтуючи силами тертя між елементами преса в процесі його роботи, визначимо споживану потужність як суму потужностей, що затрачаються для витискання олії $N_{ол.}$ та випресовування макухи $N_{м.}$ [87]:

$$N_{ол.} = P_{розв.} \cdot V_{ол.} \cdot \omega =$$

$$= \frac{\left[(\rho_{м.} \cdot V_{м.} + \psi \cdot \rho_{ол.} \cdot V_{ол.}) \cdot \omega^2 \cdot (V_{м.} + \psi \cdot V_{ол.}) \times \right. \\ \left. \times \frac{\pi}{4} \cdot (D_{зовн.}^2 - d_{\max}^2 - D_{кон. л.}^2 + d_{в. шн.}^2) \right] \cdot V_{ол.} \cdot \omega}{\frac{\pi^3}{64} \cdot (D_{кон. л.}^2 - d_{в. шн.}^2)^2 \cdot (D_{зовн.}^2 - d_{\max}^2) \cdot \eta \cdot \left(1 - f_0 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\max}} \right)^3 \right)}; \quad (3.24)$$

$$N_{м.} = \rho_{м.} \cdot V_{м.} \cdot \omega \cdot \frac{v^2}{2} \cdot f = \frac{\rho_{м.} \cdot V_{м.} \cdot \omega^3 \cdot (V_{м.} + \psi \cdot V_{ол.})^2}{2 \cdot A_{р. отв.}^2 \cdot \eta^2} \cdot f_0 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\max}} \right)^3; \quad (3.25)$$

$$N = N_{ол.} + N_{м.} =$$

$$= \frac{\left[(\rho_{м.} \cdot V_{м.} + \psi \cdot \rho_{ол.} \cdot V_{ол.}) \cdot \omega^2 \cdot (V_{м.} + \psi \cdot V_{ол.}) \times \right. \\ \left. \times \frac{\pi}{4} \cdot (D_{зовн.}^2 - d_{\max}^2 - D_{кон. л.}^2 + d_{в. шн.}^2) \right] \cdot V_{ол.} \cdot \omega}{\frac{\pi^3}{64} \cdot (D_{кон. л.}^2 - d_{в. шн.}^2)^2 \cdot (D_{зовн.}^2 - d_{\max}^2) \cdot \eta \cdot \left(1 - f_0 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\max}} \right)^3 \right)} +$$

$$+ \rho_{м.} \cdot V_{м.} \cdot \omega \cdot \frac{v^2}{2} \cdot f = \frac{\rho_{м.} \cdot V_{м.} \cdot \omega^3 \cdot (V_{м.} + \psi \cdot V_{ол.})^2}{2 \cdot A_{р. отв.}^2 \cdot \eta^2} \cdot f_0 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\max}} \right)^3. \quad (3.26)$$

3.2. Чисельне моделювання експлуатаційних характеристик преса у програмному продукті Mathematica

Даний пункт присвячений аналізу впливу різних конструктивних і функціональних параметрів шнекового преса на кількісні та силові характеристики процесу витискання олії [86]. Подальше комп'ютерне моделювання експлуатаційних характеристик преса будемо проводити в системі

mathematica з урахуванням наступних конструктивних і функціональних параметрів: $D_{зовн.} = 20$ мм, $\varphi = 2\pi$, $d_{min} = 14,1$ мм, $d_{max} = 18,7$ мм, $L = 168$ мм, $\alpha \approx 9^\circ$, $h = 0 \dots 25$ мм, $b = 3$ мм, $\rho_{н.} = 420$ кг/м³, $\omega = 0 \dots 10$ рад/с, $\rho_{м.} = 550$ кг/м³, $\rho_{ол.} = 920$ кг/м³, $D_{кон. л.} = 18$ мм, $d_{в. шн.} = 17,3$ мм, $f_0 = 0,4$, $\omega_{max} = 10$ рад/с.

Для подальшого аналізу приймемо наступні експлуатаційні коефіцієнти:

- 1) коефіцієнт заповнення витків шнека в процесі завантаження насіння $\xi = 0,9$;
- 2) коефіцієнт зміни об'єму оброблюваного насіння в процесі пресування $\zeta = 0,6$;
- 3) коефіцієнт, що характеризує залишок олії в макусі $\psi = 0,2$;
- 4) коефіцієнт нерівномірності розподілу макухи вздовж розвантажувального отвору $\eta = 0,9$.

На основі аналітичного виразу (3.22) на рис. 3.2 побудовано залежність продуктивності шнекового преса від кутової швидкості (частоти обертання) шнека та кроку витків. Отримані результати показують, що зміна частоти обертання шнека від 30 об/хв до 90 об/хв (у три рази) викликає відповідне збільшення продуктивності преса. Наприклад, з урахуванням кроку витків 10 мм продуктивність зростає приблизно втричі: з 2,4 кг/год до 7,2 кг/год. Такі ж висновки можна зробити і для інших значень кроку витків.

Аналіз впливу кроку витків на продуктивність преса дозволяє обґрунтувати аналогічну лінійну залежність. Зміна кроку витків від 5 мм до 25 мм (у п'ять разів) спричиняє відповідне збільшення продуктивності також у п'ять разів. Наприклад, розглядаючи випадок кутової швидкості шнека $6,28$ с⁻¹ (60 об/хв), згадані зміни кроку супроводжуються збільшенням продуктивності приблизно з 2,3 кг/год до 11,5 кг/год. Отже, можемо попередньо констатувати, що підвищення продуктивності шнекового преса може бути забезпечене шляхом збільшення частоти обертання шнека або кроку витків. Однак такі зміни в конструктивних та функціональних параметрах преса призведуть до значного збільшення споживаної потужності, що буде доведено згодом.

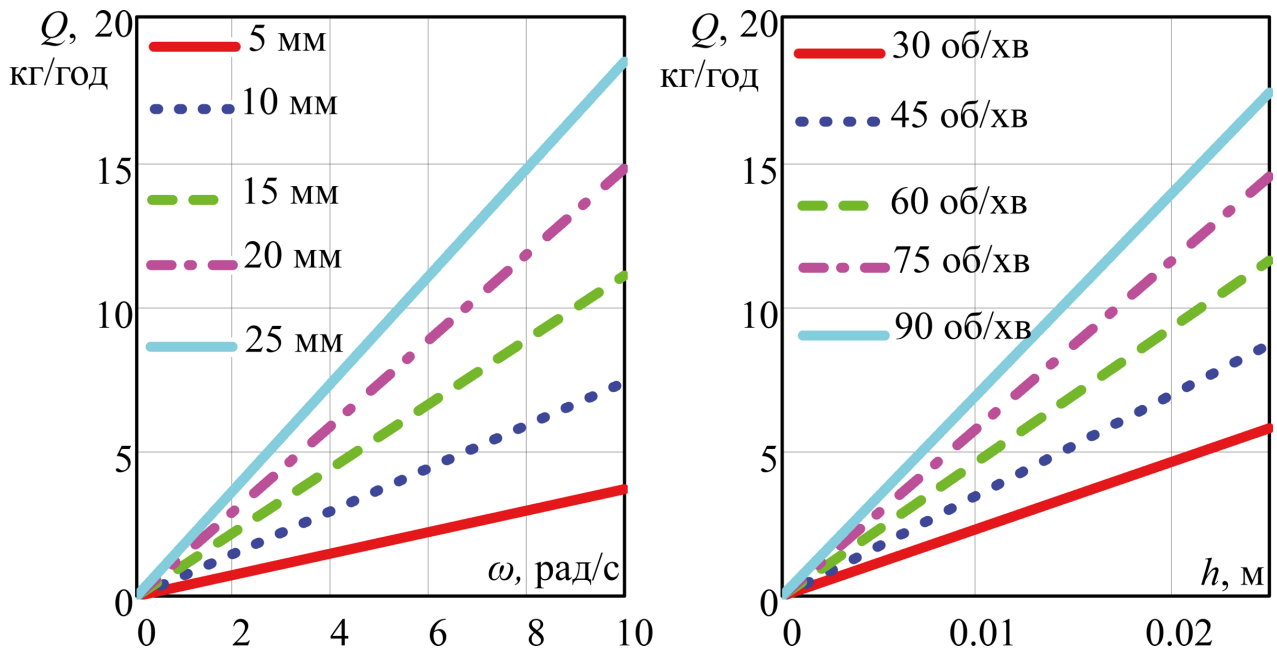


Рис. 3.2. Залежності продуктивності шнекового пресу від кутової швидкості (частоти обертання) шнека та кроку витків

Наступний етап досліджень спрямований на вивчення впливу вищевказаних параметрів на максимальний тиск оброблюваного матеріалу в камері пресування на основі виведеної аналітичної залежності (3.23). У цьому випадку (див. рис. 3.3) спостерігаються нелінійні пропорційні залежності. Враховуючи крок витків 10 мм, зміна частоти обертання від 30 об/хв до 90 об/хв (у три рази) спричиняє збільшення тиску приблизно з 0,4 МПа до 0,36 МПа (в дев'ять разів). Такий самий висновок можна зробити для випадку кроку витків 25 мм, коли згадані зміни кутової швидкості спричиняють збільшення тиску приблизно в дев'ять разів (від 2 МПа до 18 МПа). Аналізуючи вплив кроку витків, відповідна залежність також описується нелінійною зростаючою функцією. Наприклад, враховуючи кутову швидкість $6,28 \text{ с}^{-1}$ (60 об/хв), зміна кроку витків від 5 мм до 25 мм спричиняє підвищення тиску оброблюваного матеріалу в камері пресування від 0,8 МПа до 8 МПа.

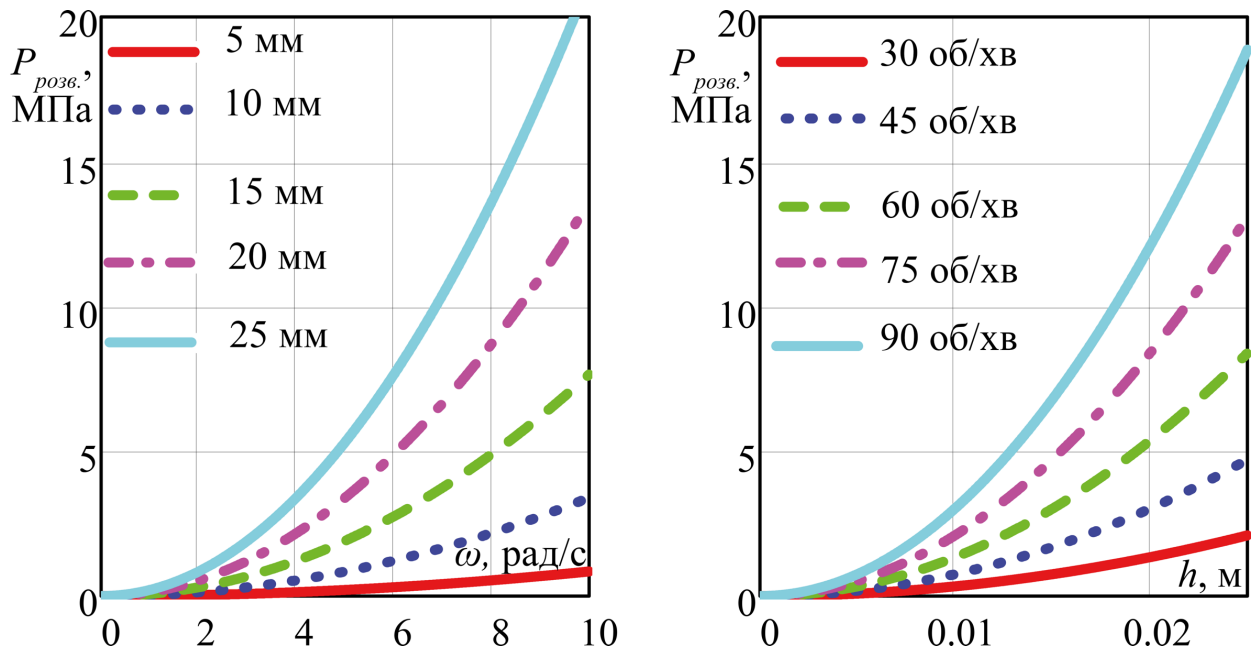


Рис. 3.3. Залежності максимального тиску матеріалу всередині пресувальної камери від кутової швидкості (частоти обертання) шнека та кроку витків

Останній етап даних досліджень присвячений аналізу впливу розглянутих вище параметрів на корисну (ефективну) потужність досліджуваного преса, зокрема споживану потужність для процесів витискання олії та випресовування макухи. З урахуванням отриманих аналітичних виразів (3.24)–(3.26) відповідні залежності корисної потужності наведено на рис. 3.4. Враховуючи значну нелінійність отриманих кривих, у даній роботі наведено випадки, коли крок витків приймає значення 5, 10 і 15 мм, а частота обертання шнека дорівнює 30, 45 і 60 об/хв. У випадку, коли кутова швидкість шнека становить $6,28 \text{ с}^{-1}$ (60 об/хв), зміна кроку витків від 5 мм до 15 мм спричиняє збільшення споживаної потужності приблизно від 100 Вт до 1,9 кВт. Враховуючи найбільший крок 15 мм, збільшення частоти обертання шнека від 30 об/хв до 60 об/хв спричиняє зміну споживаної потужності від 200 Вт до 1700 Вт. Отже, початковий висновок про доцільність збільшення кутової швидкості або кроку витків для підвищення продуктивності шнекового преса не є цілком обґрунтованим. У такому разі необхідно проаналізувати інші потенційні напрямки підвищення ефективності процесу витискання олії.

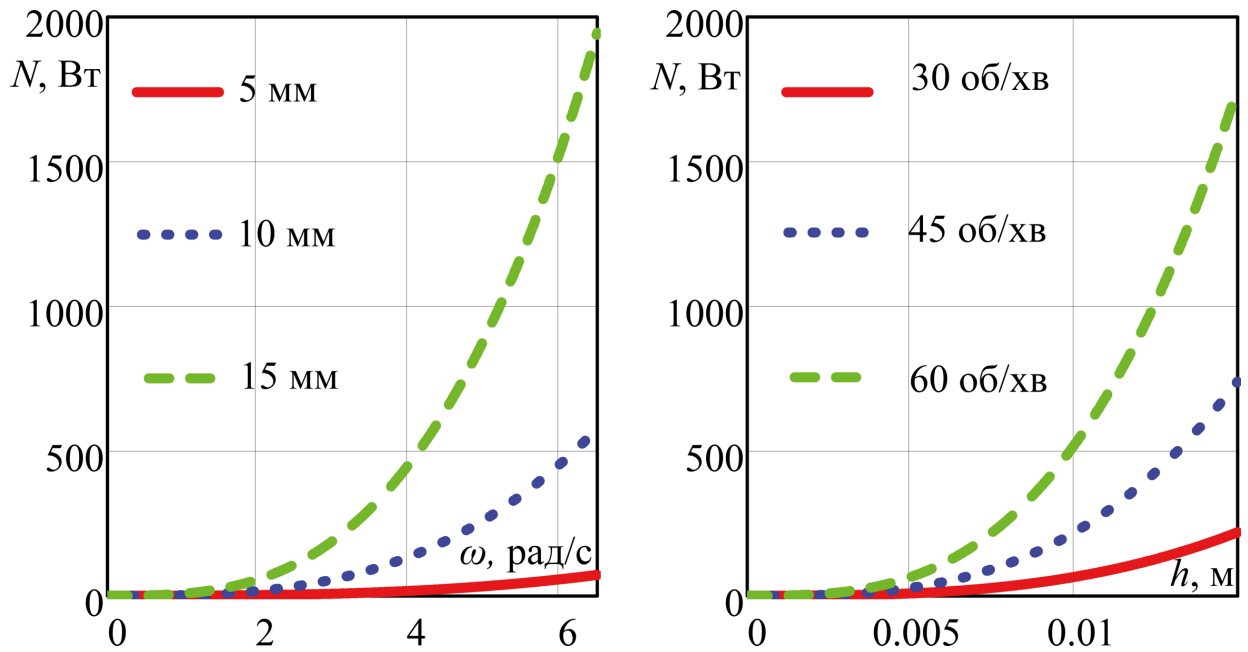


Рис. 3.4. Залежності корисної потужності преса від кутової швидкості (частоти обертання) шнека та кроку витків

3.3. Дослідження напружено-деформованого стану шнека у програмному продукті SolidWorks

У сучасній інженерній практиці аналіз напружено-деформованого стану конструкцій є важливим етапом проектування та дослідження технічних систем [88]. У даному дослідженні буде розглянуто напружено-деформований стан шнека за допомогою програмного продукту SolidWorks з використанням методу скінченних елементів [89]. Додаток Simulation дозволяє проводити детальний аналіз механічних систем з врахуванням різних чинників, таких як геометрія деталі, фізико-механічні характеристики та умови навантаження [90].

В рамках дослідження буде здійснено твердотільне моделювання шнека з урахуванням реальної геометрії та фізико-механічних характеристик. При цьому будуть аналізуватися параметри напружень, деформацій та інших важливих фізичних характеристик, які впливають на роботу шнека під час експлуатації.

У відповідності до наявного експериментального зразка шнекового валу було розроблено його загальне креслення (рис. 3.1) та твердотільну модель у програмному продукті SolidWorks (рис. 3.5). Правий (передній) кінець

шнекового валу встановлюється у розвантажувальний отвір пресувальної камери, а лівий (задній) кінець з'єднується з приводним фланцем.

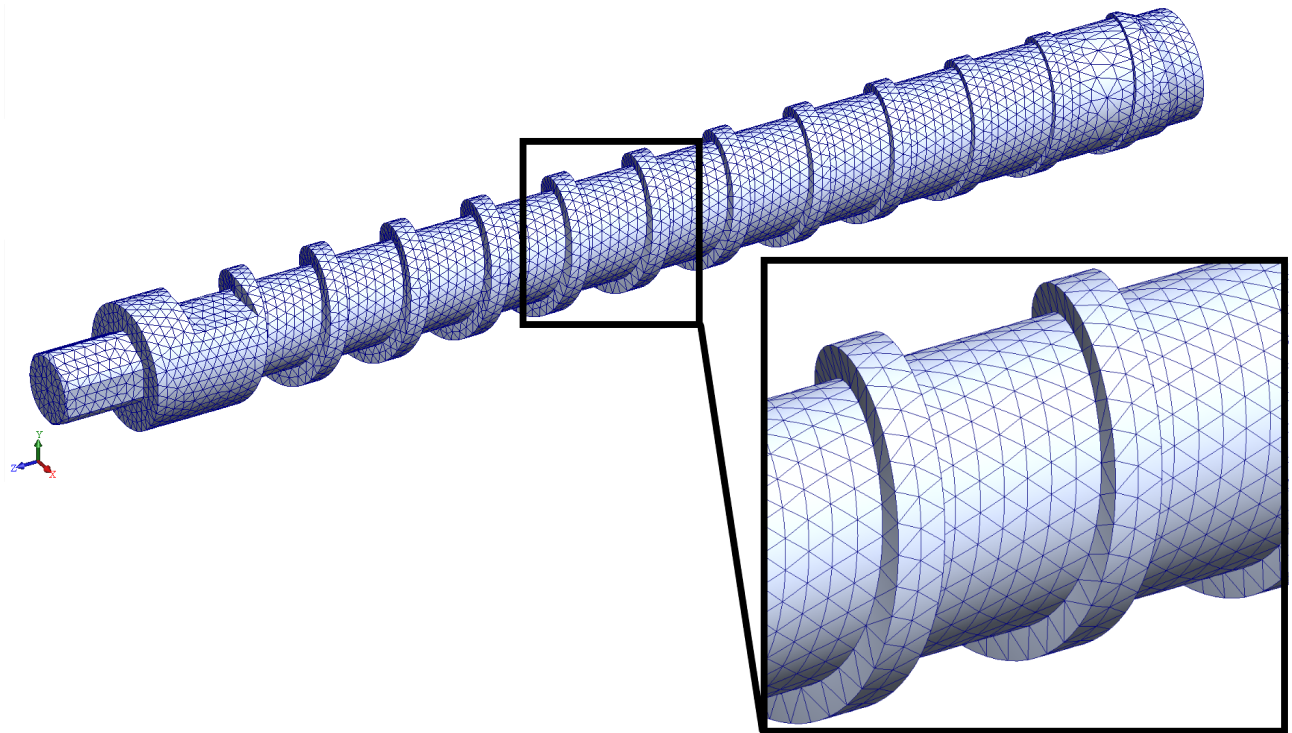


Рис. 3.5. Твердотільна модель валу шнека, розвита на скінченні елементи у програмному продукті SolidWorks Simulation

Враховуючи опорну функцію правого кінця валу, його номінальний діаметр становить 17,3 мм, а шестигранник на його приводному лівому кінці характеризується діаметром описаного кола 12 мм, вписаного кола – 11 мм. Кількість витків шнека рівна 13; крок витків дорівнює 14 мм та є однаковим по всій довжині шнека. Вал виготовлений з легованої сталі AISI 420 (або X40Cr13). Максимальна частота обертання шнека становить 60 об/хв, а номінальний крутний момент не перевищує 10 Н·м, що забезпечує максимальний тиск матеріалу всередині робочої камери на рівні до 20 МПа. Для проведення комп'ютерного моделювання найважчих умов навантаження шнека була розроблена його скінченно-елементна модель у програмі SolidWorks Simulation з використанням адаптивної (інтелектуальної) сітки (рис. 3.5).

Для моделювання напружено-деформованого стану шнека методом скінченних елементів використовувалися такі додатки SolidWorks: Simulation та Flow Simulation. Експериментальні дані процесу витискання очищеного від шкаралупи соняшнику, змодельованого у програмному продукті Flow Simulation, експортувалися до програми Simulation, де виконувався статичний аналіз напружено-деформованого стану шнека (див. рис. 3.6 – 3.7). Епюра 1 (рис. 3.6(a)) відображає загальний розподіл напружень на зовнішній поверхні шнекового вала, тоді як на інших графіках (рис. 3.6(б – є)) наведені результати зондування напружень по довжині шнека у різних зонах (вершини витків, впадини витків, центральна вісь шнека).

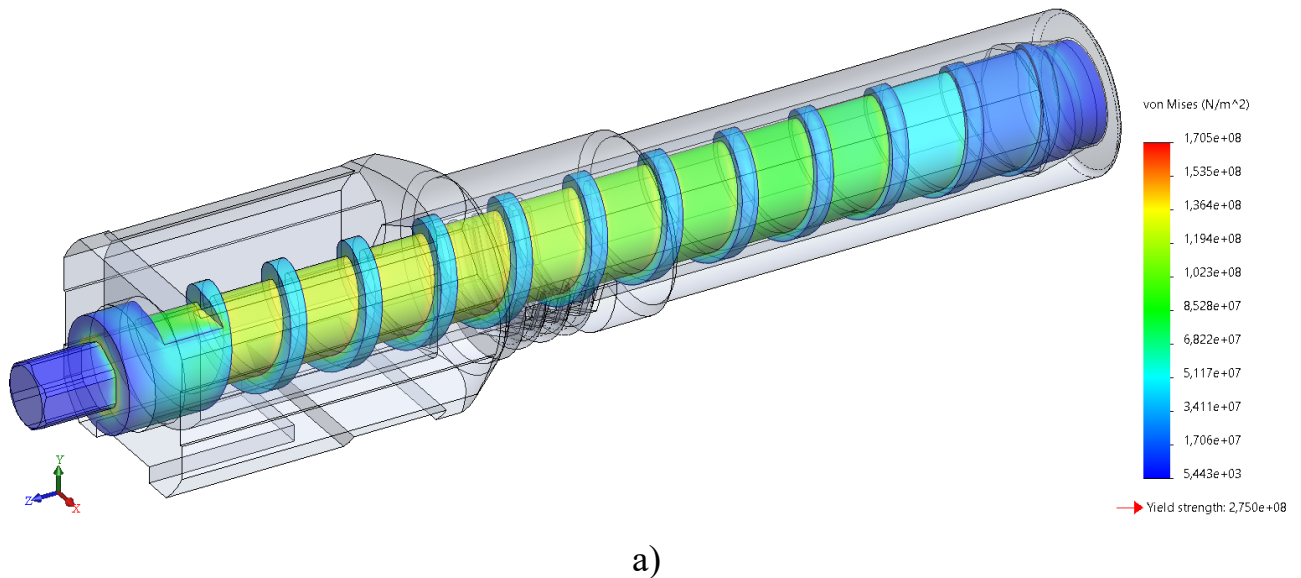
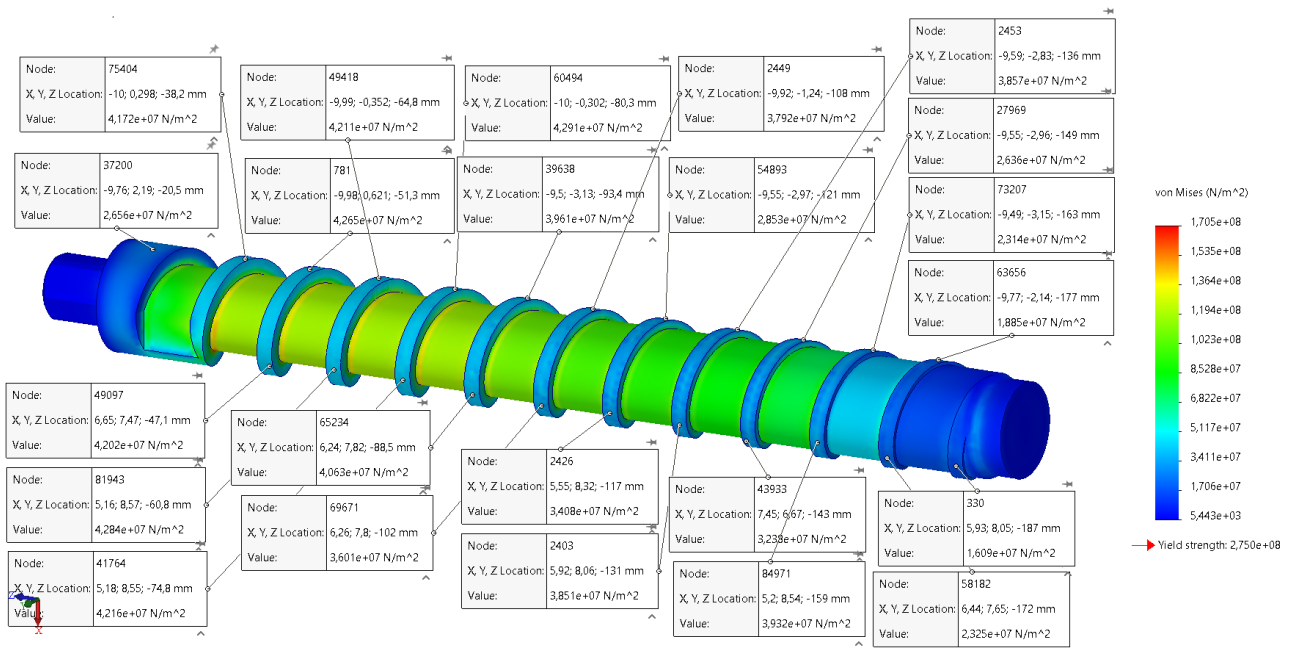
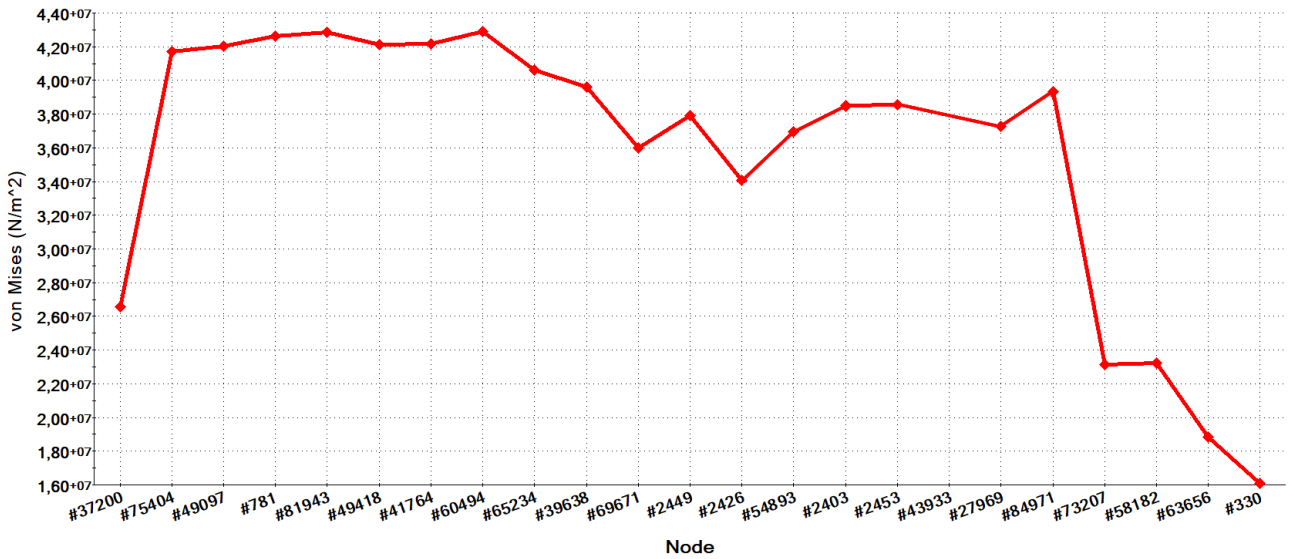


Рис. 3.6. Результати імітаційного моделювання напруженого стану шнека у програмному продукті SolidWorks (початок)

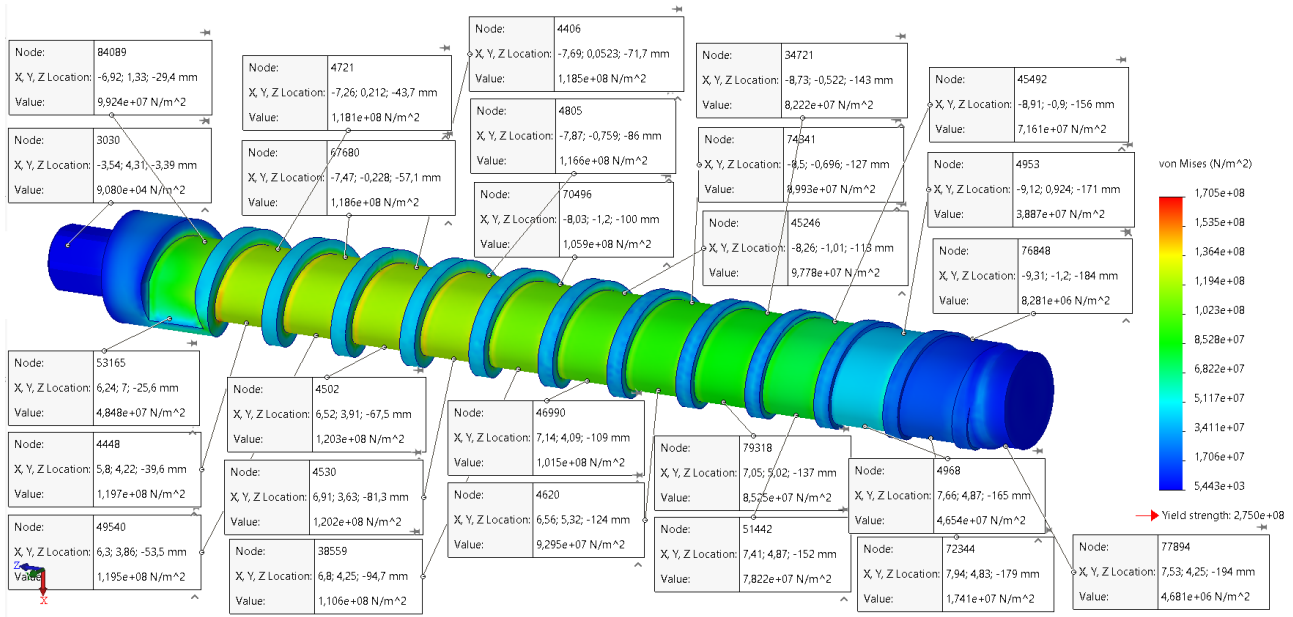


б)

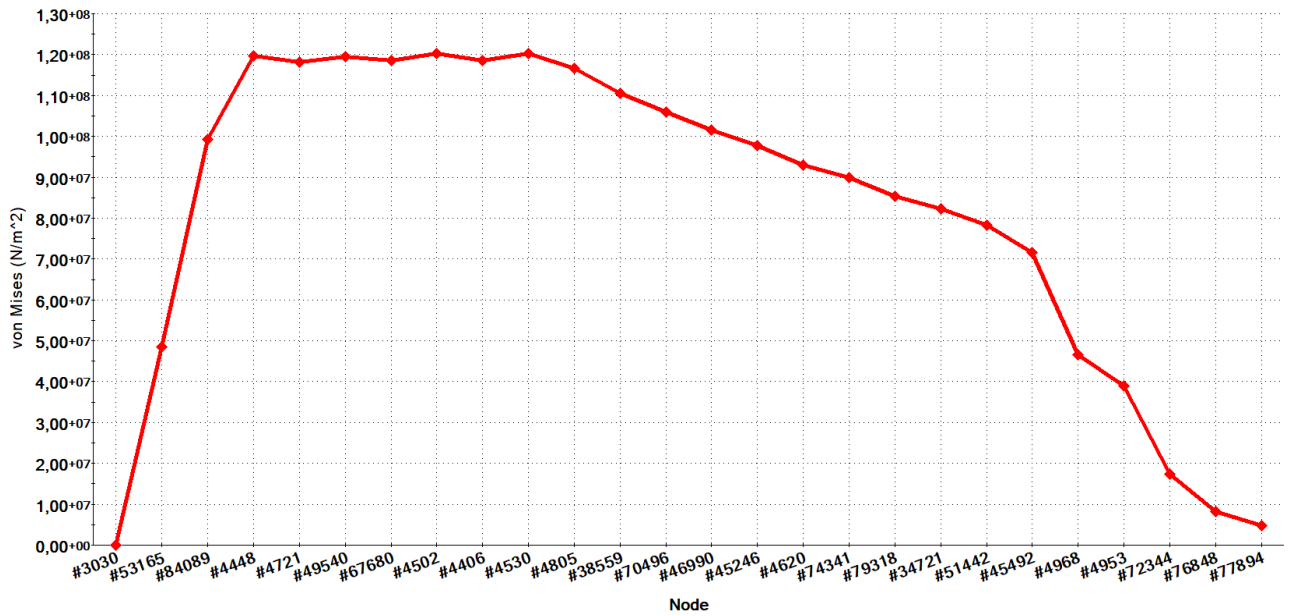


в)

Рис. 3.6. Результати імітаційного моделювання напруженого стану шнека у програмному продукті SolidWorks (продовження)

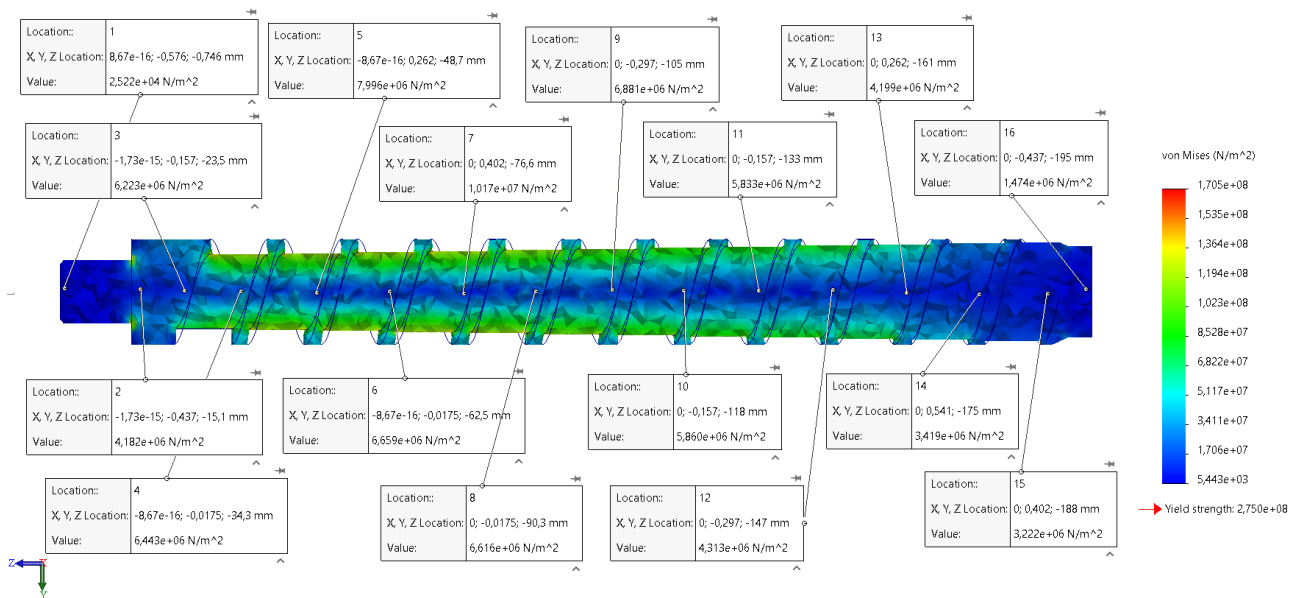


Г)

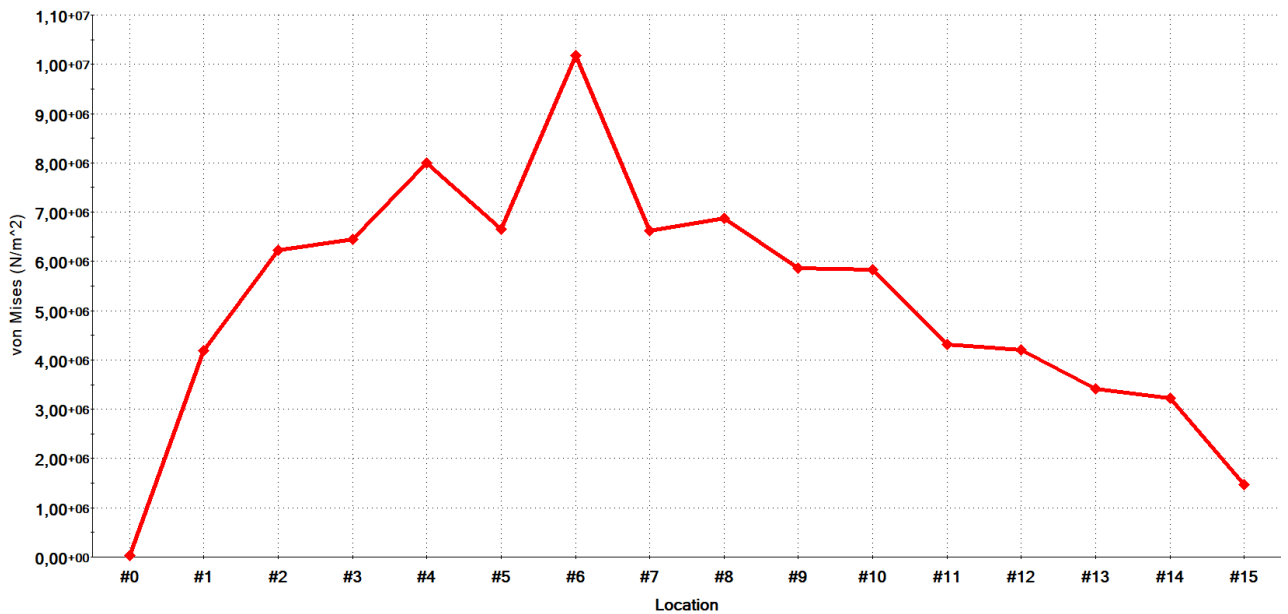


Д)

Рис. 3.6. Результати імітаційного моделювання напруженого стану шнека у програмному продукті SolidWorks (продовження)



e)



e)

Рис. 3.6. Результати імітаційного моделювання напруженого стану шнека у програмному продукті SolidWorks (кінець)

Результати моделювання напруженого стану шнека (рис. 3.6) показують, що максимальні напруження концентруються в областях приєднання гвинтового витка до валу шнека, досягаючи значень близько 120 МПа між зонами завантаження насіння та виходу олії. Що стосується зовнішніх поверхонь (вершин) витків, то максимальні напруження не перевищують 44 МПа. На центральній осі шнека напруження знаходяться в межах від 0 до 11 МПа.

Враховуючи леговану сталь AISI 420 (або X40Cr13) як матеріал, який використовується для виготовлення шнека, його межа текучості складає не менше 275 МПа і може досягати більших значень в залежності від технології термічної обробки. У підсумку можна зробити наступний висновок, що межа міцності принаймні у 2...3 рази більша, ніж максимальне напруження, змодельоване методом скінченних елементів у програмному продукті SolidWorks Simulation.

Аналіз деформованого стану шнека також здійснювався у програмному середовищі SolidWorks Simulation на основі експериментальних результатів, отриманих у програмі Flow Simulation. Відповідні епюри деформацій шнека представлені на рис. 3.7. Епюра 1 (рис. 3.7(а)) відображає загальне деформування (скручування) зовнішніх поверхонь шнекового валу, тоді як на інших графіках (рис. 3.7(б, в)) наведені результати зондування деформацій по довжині шнека у зонах вершин витків, які піддаються максимальному скручуванню. Очевидно, що деформування шнекового валу та гвинтових витків виникає у результаті дії сил тертя, що генеруються в процесі відносного руху поверхонь витків шнека та матеріалу, який витискається. Ці сили залежать від тиску та температури матеріалу у робочій камері, частоти обертання шнека та фізико-механічних властивостей матеріалу, який витискається.

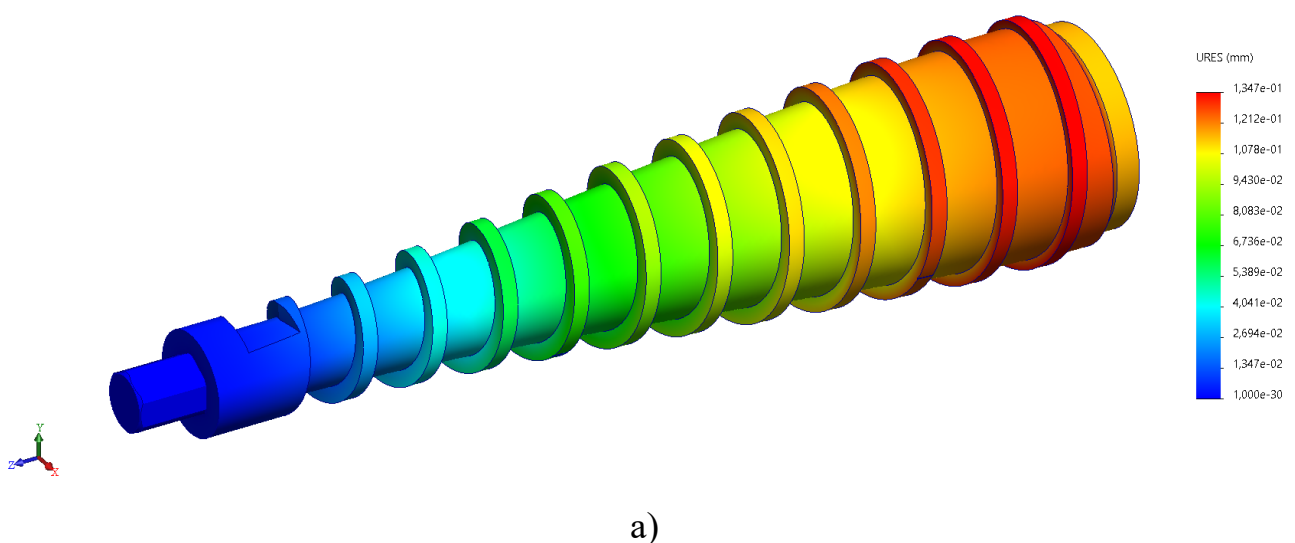
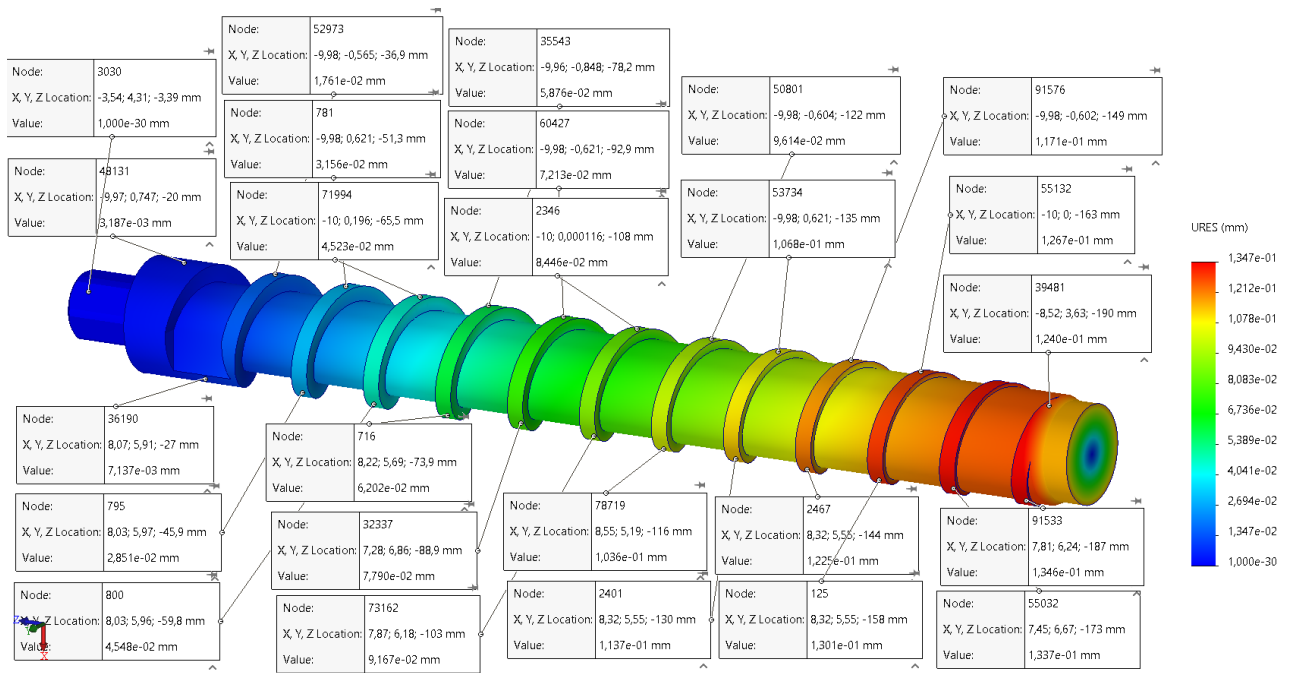
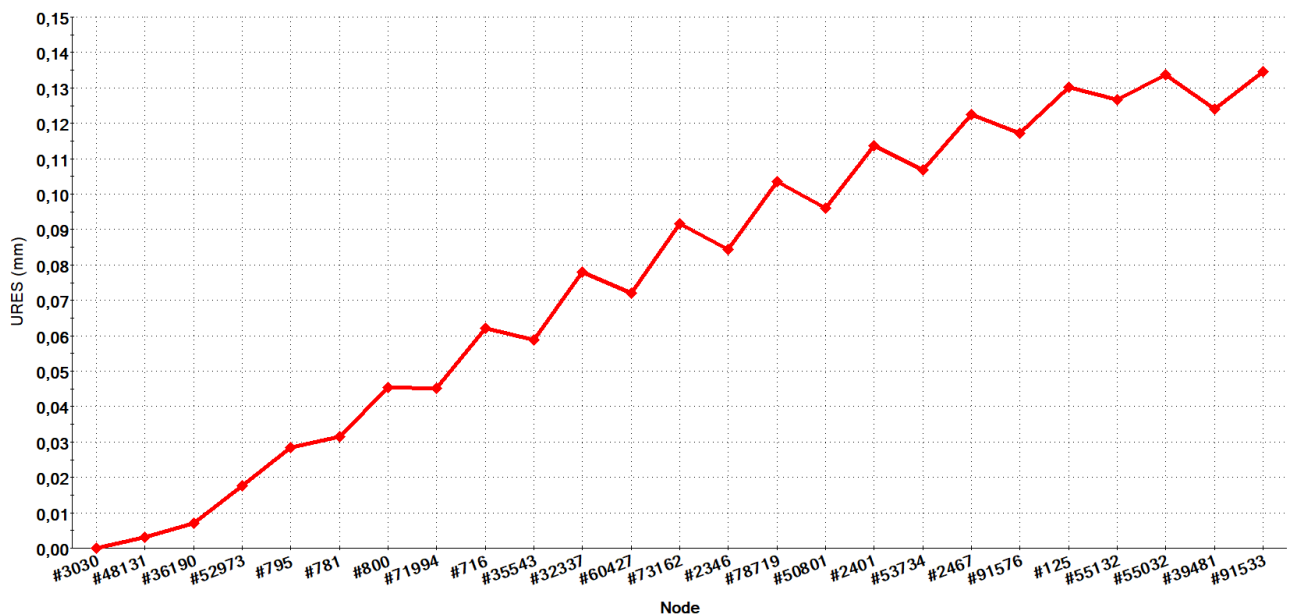


Рис. 3.7. Результати імітаційного моделювання деформованого стану шнека у програмному продукті SolidWorks (початок)



б)



в)

Рис. 3.7. Результати імітаційного моделювання деформованого стану шнека у програмному продукті SolidWorks (кінець)

Результати імітаційного моделювання деформованого стану шнека (рис. 3.7) показують, що найбільші деформації шнеку досягають 0,14 мм і спостерігаються на його передніх витках. Задній кінець шнека, який з'єднаний з привідним фланцем, очевидно, характеризується найменшими деформаціями.

Тому, враховуючи наведені вище результати моделювання, можна зробити висновок, що обраний матеріал досліджуваного шнека, зокрема, легована сталь AISI 420 (або X40Cr13), дозволяє забезпечити його надійну та довговічну роботу за заданих експлуатаційних умов: максимальна частота обертання 60 об/хв та номінальний крутний момент приводу, що досягає 10 Н·м, забезпечуючи максимальний тиск пресованого матеріалу (соняшника, очищеного від шкаралупи) всередині робочої камери на рівні до 20 МПа.

Отримані результати дослідження можуть мати практичне застосування для вдосконалення механічних систем шнекових пресів та оптимізації їхньої роботи з метою підвищення ефективності та тривалості функціонування.

3.4. Розробка принципової електричної схеми приводу пресу

Принцип роботи та підключення ключових органів управління та діагностики в даній схемі керування шнековим пресом (див. рис. 3.8) побудовані на основі мікропроцесора Arduino Mega (U1). Запропонована схема передбачає використання як цифрових так і аналогових портів, а також портів PWM. Стандарти температури (давачі DS18B20 (U4-U6)) та модуля ваги (HX711 (U8)) відображається на LCD екрані 2004 (U3), який під'єднаний через I2C шину. Дачі DS18B20 під'єднані до аналогових виходів через підтягуючі резистори (помилка по підключенню або ж несправності дача відображається на LCD), а модуля ваги HX711 до цифрового піну. Для зняття показів швидкості обертання двигуна використовуємо дачч Холла YS-27 (U5), який підключено до цифрового піна, який працює в перериванні.

Для відображення параметрів струму та напруги використовуємо відповідно даччі ZMPT101B (U10) та SCT013 (U11), які у свою чергу під'єднані до Arduino Nano (U2). Використання мікроконтролера Arduino Nano зумовлено тим, що опрацювання даччів напруги і струму виконується значний проміжок часу, тому, щоб основний алгоритм працював стало із перериванням, нам потрібно використати інший мікроконтролер, який відповідатиме тільки за їх опитування. Керування вентиляторами (охолодження) (U14 та U15) відбувається

завдяки модулю драйвера двоканального двигуна MX1508 (U9). Частота обертання вентиляторів (охолодження) контролюється PWM сигналом.

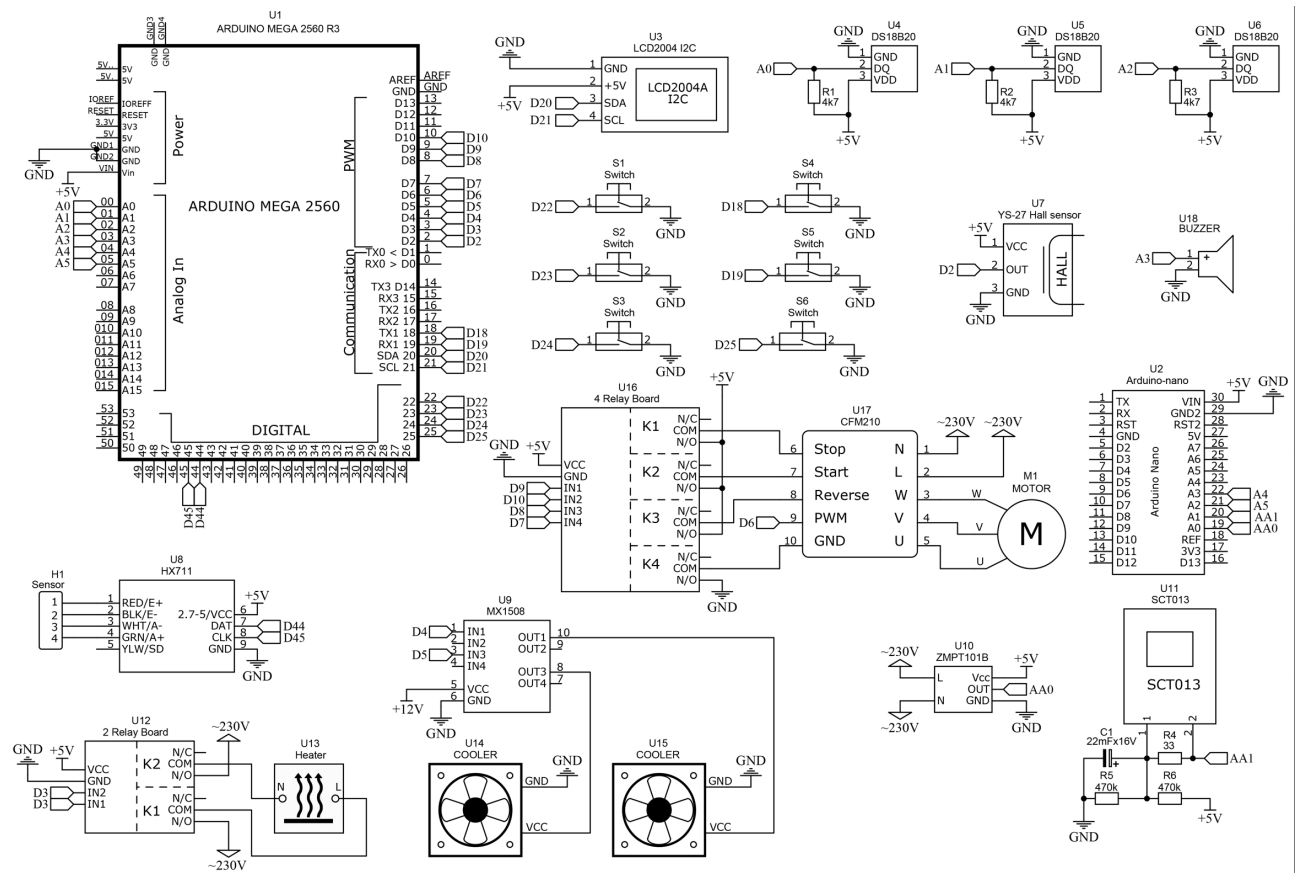


Рис. 3.8. Електрична принципова схема приводу преса

Нагрів сопла шнека відбувається за рахунок нагрівача U13. Керування нагрівачем відбувається модулем реле U12, який отримує керуючі сигнали від Arduino Mega. Керування обертами двигуна забезпечується через PWM, який подаємо безпосередньо до частотного перетворювача CFM210 (U17), а керування всіма іншими функціями здійснюється через релейний модуль (U16). Використання релейного модуля обумовлено тим, що ми симулюємо ручне керування частотного перетворювача, що надає нам варіативність у виборі частотних перетворювачів, а не під кожен прописувати інший алгоритм роботи. Асинхронний двигун під'єднано вже безпосередньо до частотного перетворювача, що дозволяє нам регулювати його швидкість без значної втрати потужності на вихідному валу. Для сигналізації аварійного стану або закінчення

роботи пресу передбачено зумер (U18). Керування запуском, зупинкою та реверсом двигуна відбувається завдяки кнопок з нормально розімкненими контактами S1-S3, а керування параметрами ваги відбувається кнопками S4-S6.

3.5. Імітаційне моделювання роботи системи керування у програмному продукті Tinkercad

Tinkercad – це безкоштовна веб-програма для 3D-дизайну, моделювання електроніки та програмування [91]. Tinkercad Circuits – це потужний інструмент, який об'єднує в собі можливості Tinkercad та Arduino в електричних схемах. Робоче поле програми Tinkercad Circuits зображено на рис. 3.9.

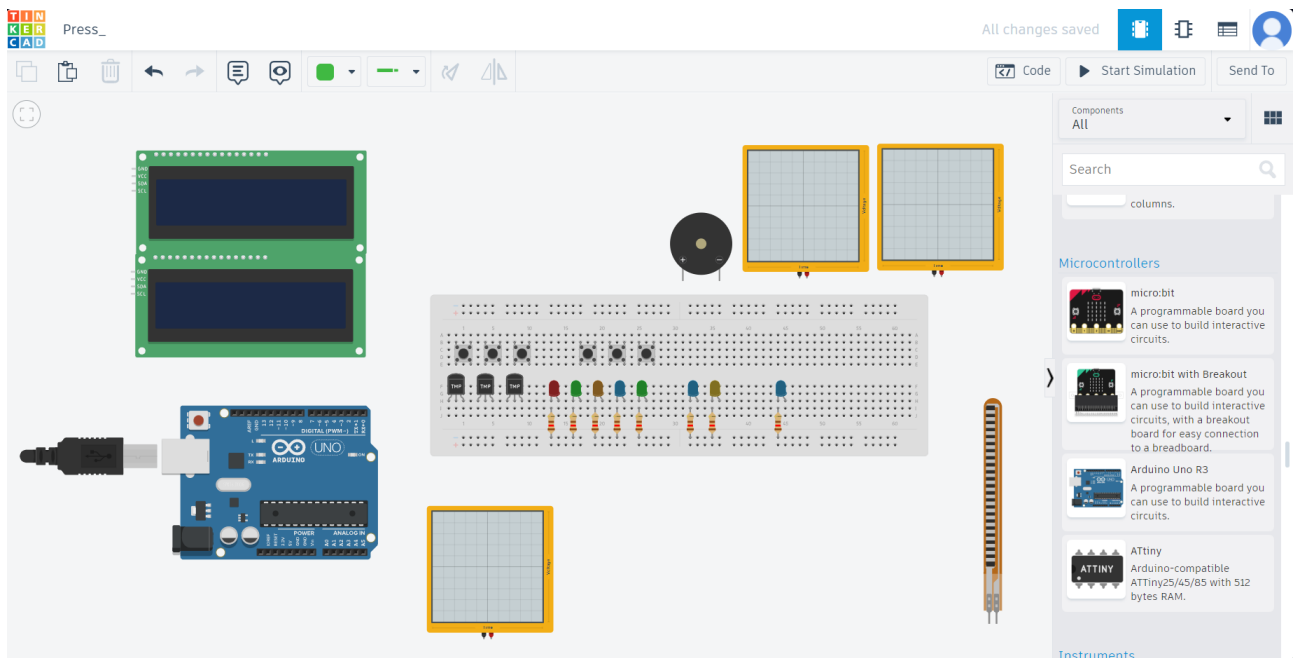


Рис. 3.9. Робоче середовище програмного продукту Tinkercad Circuits

Завдяки Tinkercad Circuits можна створювати та програмувати різноманітні проекти Arduino, не маючи реального лабораторного обладнання. Починаючи роботу з Tinkercad Circuits, стає доступним великий спектр цифрових компонентів, які можна легко перетягувати та розміщати на робочій площині. Є змога вибирати з великого асортименту доступних елементів – від світлодіодів до вбудованих схем та інструментів. Також варто зазначити, що

Tinkercad Circuits дозволяє експортувати проекти та отримувати список компонентів, що спрощує перенесення проектів на лабораторні макети [92].

Щоб перевірити працездатність запропонованої системи керування, у програмному продукті Tinkercad Circuits моделювалися відповідна електрична принципова схема (рис. 3.10) та імітаційний макет системи керування (рис. 3.11).

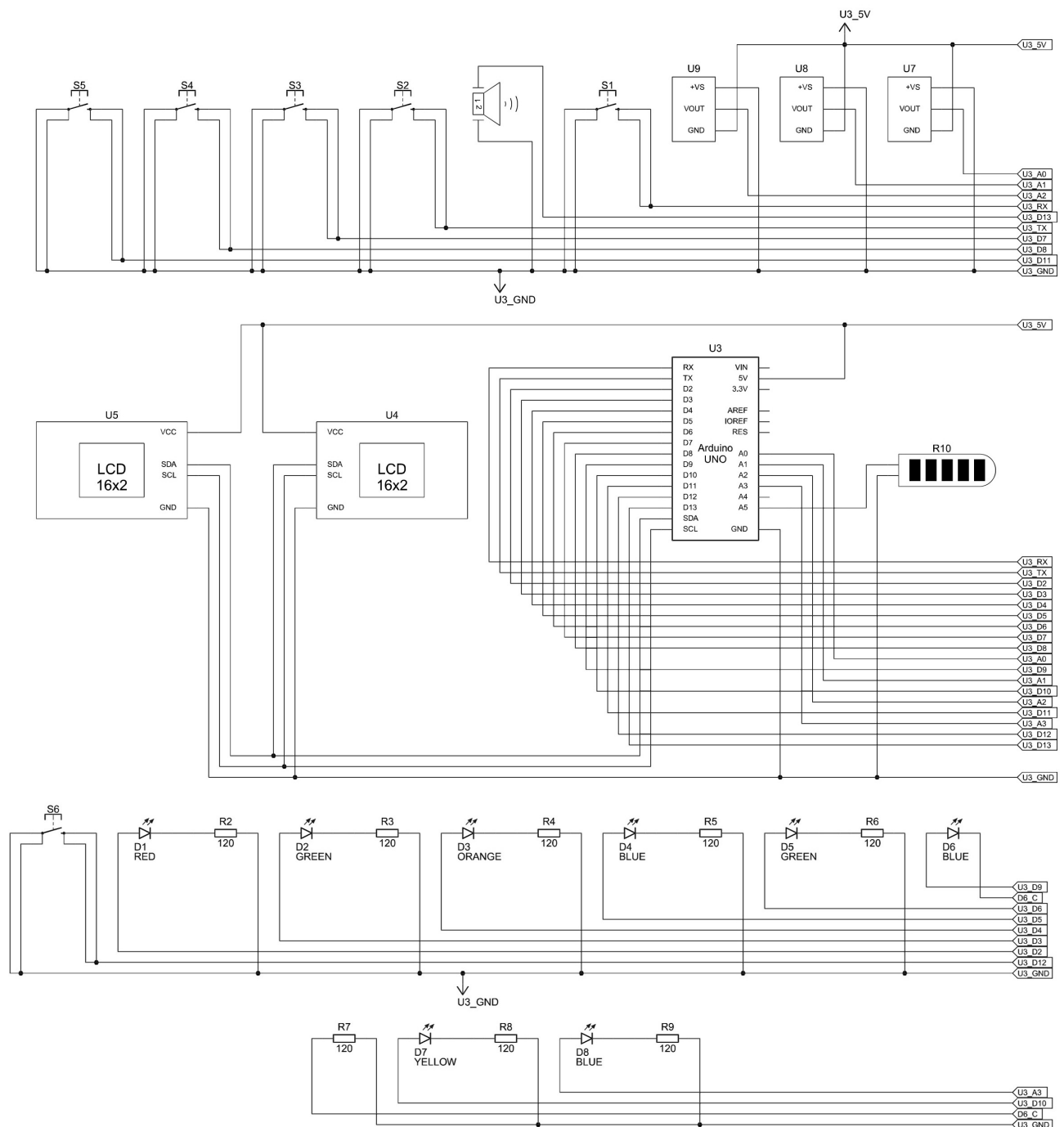


Рис. 3.10. Електрична принципова схема системи керування шнекового преса, реалізована у програмному продукті Tinkercad

Макетна плата системи керування шнековим пресом (рис. 3.11), побудована на базі мікроконтролера Arduino UNO, який є єдиним доступним мікроконтролером з сімейства Arduino в програмному продукті Tinkercad. Однією з основних відмінностей даної схеми є використання двох LCD екранів 1602 з I2C на відміну від LCD екрану 2004 з I2C, який використовується в оригінальному проекті, у зв'язку з відсутністю даного модуля в програмі. Щоб під'єднати даний екран було вибрано різні адреси для звернення та змінено сам код програми, наступна відмінність у використанні резистивного датчика згину, який є аналогом тензодавача в оригінальній схемі. Решта керуючих сигналів (ідуть по порядку стоп, пуск, реверс, PWM, дозвіл руху, який забезпечує подачу керуючого сигналу в модульному реле, два світлодіоди вентиляторів та нагрівач) замінені світлодіодами для візуалізації подачі сигналу.

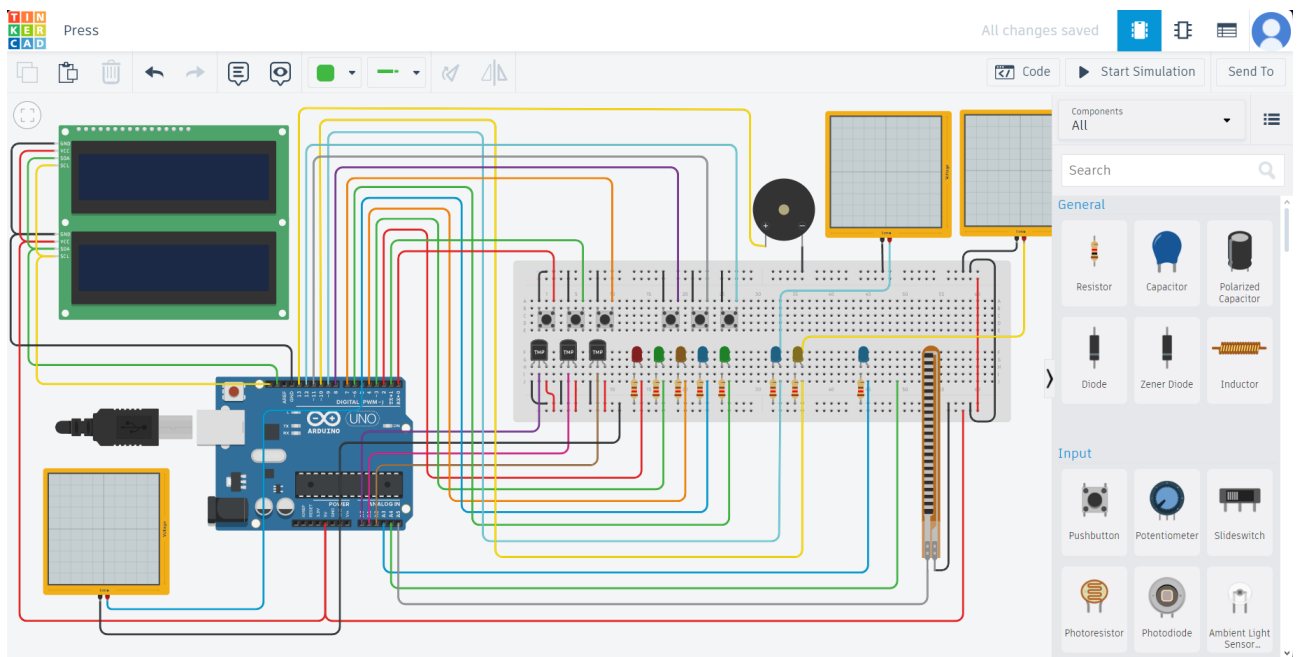


Рис. 3.11. Імітаційна макетна плата системи керування шнекового преса, реалізована у програмному продукті Tinkercad

На керуючих контактах, які використовують PWM, були використані також світлодіоди, а зміну заповнення PWM можна відслідковувати зміною яскравості їх світіння, однак це мало інформаційний спосіб відображення, тому паралельно до цих виводів підключено осцилографи, які вже надають повну

картину форми сигналу, його частоту та величину. На макетній схемі присутні також 3 датчі температури, які відповідають за температуру двигуна, нагрів сопла шнеку та температуру олії; показники цих температур відображаються на екрані. Перші 3 кнопки відповідають відповідно за стоп, старт і реверс двигуна шнекового пресу; наступні 3 кнопки – за роботу з вагою, а саме: додати 10 грам, обнулити показ ваги, відняти 10 грам. Для сигналізації аварійного стану або ж закінчення роботи пресу передбачено зумер. Результати імітаційного моделювання роботи системи керування наведено на рис. 3.12.

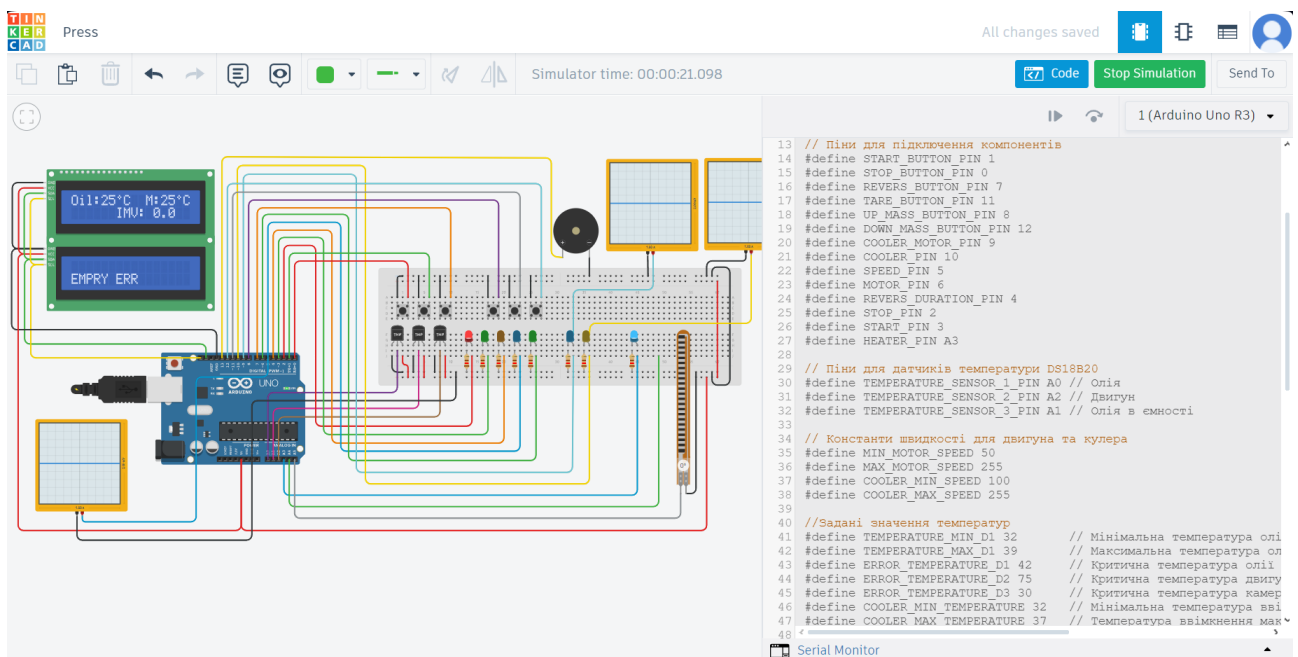


Рис. 3.12. Симулятор системи керування шнекового преса, реалізований у програмному продукті Tinkercad

В правій частині робочого поля програми прописуємо програмний код роботи системи керування. В наведеній частині програмного коду відображено ініціалізацію контактів підключення. В лівій частині робочого поля відбувається симуляція процесу роботи системи керування. Бачимо що активний червоний світлодіод, а отже спрацювала команда “СТОП”, що говорить про аварійний стан системи. Помилка аварійного стану відображена на нижньому дисплеї “EMPTY ERR”, яка означає зупинку пристрою від простою (відсутні зміни в показах датчика маси за заданий період часу). На верхньому екрані виводиться інформація

про стан температур олії та двигуна, які знімаються з датчиків температур, а також задане оператором значення маси витисненої олії. Активний стан синього світлодіода інформує про роботу нагрівача пресувальної камери.

Таким чином, на основі проведеного імітаційного моделювання, можемо констатувати що запропонована у даній дисертаційній роботі система керування шнековим пресом є потенційно працездатною та в подальшому може бути втілена у вигляді експериментального макета.

Висновки до третього розділу

Третій розділ дисертаційної роботи присвячений розробленню математичної моделі, яка дозволяє аналізувати різноманітні експлуатаційні параметри шнекового преса (на прикладі преса LiangTai LTP200). Зокрема, виведено аналітичні залежності для встановлення продуктивності преса, тиску у прикінцевій камері витискання макухи та корисної (ефективної) потужності, яка затрачається в процесі витискання олії та випресовування макухи.

За результатами теоретичних досліджень було проведено математичне моделювання залежностей вказаних вище експлуатаційних характеристик шнекового преса від його окремих конструктивних та функціональних параметрів у програмному продукті Wolfram Mathematica. Зокрема, було проаналізовано залежності продуктивності преса, тиску у прикінцевій камері витискання макухи та корисної (ефективної) потужності від кутової швидкості (частоти обертання) шнека та кроку витків.

За результатами проведеного математичного моделювання встановлено пропорційні лінійні залежності продуктивності преса від частоти обертання шнека і кількості його витків. Наприклад, зміна частоти обертання шнека від 30 об/хв до 90 об/хв (у три рази) спричинила відповідне збільшення продуктивності преса приблизно втричі: з 2,4 кг/год до 7,2 кг/год (за кроку витків 10 мм). З іншого боку, зміна кроку витків від 5 мм до 25 мм (у п'ять разів) спричиняє відповідне збільшення продуктивності також у п'ять разів: з 2,3 кг/год до 11,5 кг/год (за кутової швидкості шнека $6,28 \text{ c}^{-1}$ (60 об/хв)).

Моделювання тиску оброблюваного матеріалу в камері пресування за різних кутових швидкостей шнека і кроків витків дозволило встановити наступні нелінійні зростаючі залежності. Зміна частоти обертання від 30 об/хв до 90 об/хв (у три рази) за кроку витків 10 мм спричиняє збільшення тиску приблизно з 0,4 МПа до 0,36 МПа, тобто в дев'ять разів. За кутової швидкості шнека $6,28 \text{ c}^{-1}$ (60 об/хв) зміна кроку витків від 5 мм до 25 мм (у п'ять разів) спричиняє підвищення тиску оброблюваного матеріалу в камері пресування від 0,8 МПа до 8 МПа, тобто в десять разів.

Що стосується ефективної потужності преса, то за кутової швидкості шнека $6,28 \text{ c}^{-1}$ (60 об/хв) зміна кроку витків від 5 мм до 15 мм (у три рази) спричиняє збільшення споживаної потужності приблизно від 100 Вт до 1,9 кВт, тобто практично у двадцять разів. За кроку витків 15 мм збільшення частоти обертання шнека від 30 об/хв до 60 об/хв (у два рази) спричиняє зміну споживаної потужності від 200 Вт до 1700 Вт, тобто у понад вісім разів.

Наступним етапом досліджень став аналіз напружено-деформованого стану шнекового валу за допомогою методу скінченних елементів у програмному продукті SolidWorks. Вихідними даними стали максимальна частота обертання шнека 60 об/хв, номінальний крутний момент 10 Н·м, максимальний тиск матеріалу всередині робочої камери 20 МПа. Результати імітаційного моделювання показали, що максимальні напруження концентруються в областях приєднання гвинтового витка до валу шнека, досягаючи значень близько 120 МПа між зонами завантаження насіння та виходу олії. Межа текучості матеріалу шнека (сталі AISI 420 або X40Cr13) принаймні у 2...3 рази більша, ніж змодельовані максимальні напруження.

Завершальним етапом даного розділу стало розроблення принципової електричної схеми приводу шнекового преса та імітаційне моделювання його роботи у програмному продукті Tinkercad, у результаті чого вдалося обґрунтувати працездатність запропонованої у попередньому розділі системи керування, яка в подальшому буде втілена у вигляді експериментального макета.

Отримані в даному розділі результати можуть бути використані в процесі оптимізації роботи шнекового преса за необхідності максимізації його продуктивності й мінімізації споживаної потужності.

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЦЕСУ ВИТИСКАННЯ ОЛІЇ

4.1. Конструктивні та функціональні особливості експериментальної установки

Дослідний зразок модернізованого шнекового преса з розробленою системою керування представлено на рисунку 4.1. Насіння завантажується в резервуар 1, який встановлено в камеру транспортування 2. Під час роботи машини насіння транспортуються шнеком 3 в пресувальну камеру 4, де відбувається безпосередньо процес витискання олії.

Олія витікає з пресувальної камери 4 через отвори в її нижній частині в резервуар (чашу) 5. Макуха, що утворюється в процесі пресування, виводиться по патрубку 6 в бак (чашу) 7. Обертання гвинта 3 утворюється двоступеневим циліндричним редуктором 8, що приводиться в рух асинхронним електродвигуном 9.

Запропонована система керування дозволяє попередньо розігріти пресувальну камеру перед початком роботи машини. Це дозволяє покращити якісні та кількісні показники витисненої олії. На підпружиненому кронштейні 11 встановлений відповідний нагрівач 10, який за рахунок шарніру може змінювати своє кутове положення відносно корпусу преса. З іншого боку, коли температура витисненої олії перевищує технологічно задане значення, необхідно включити додатковий охолоджувач (вентилятор) 12 для обмеження перегріву олії. Останнє може призвести до зниження якісних показників олії.

Температури витисненої олії, пресувальної камери 4 і електродвигуна 9 контролюються відповідними давачами 13, 14 і 15. Якщо хоча б один давач показує температуру вище допустимого значення, система керування зупиняє процес пресування. Якщо температура олії або електродвигуна досягає заданого критичного значення, вмикаються відповідні охолоджувачі (вентилятори) 12 і 16 для обмеження подальшого зростання температури.

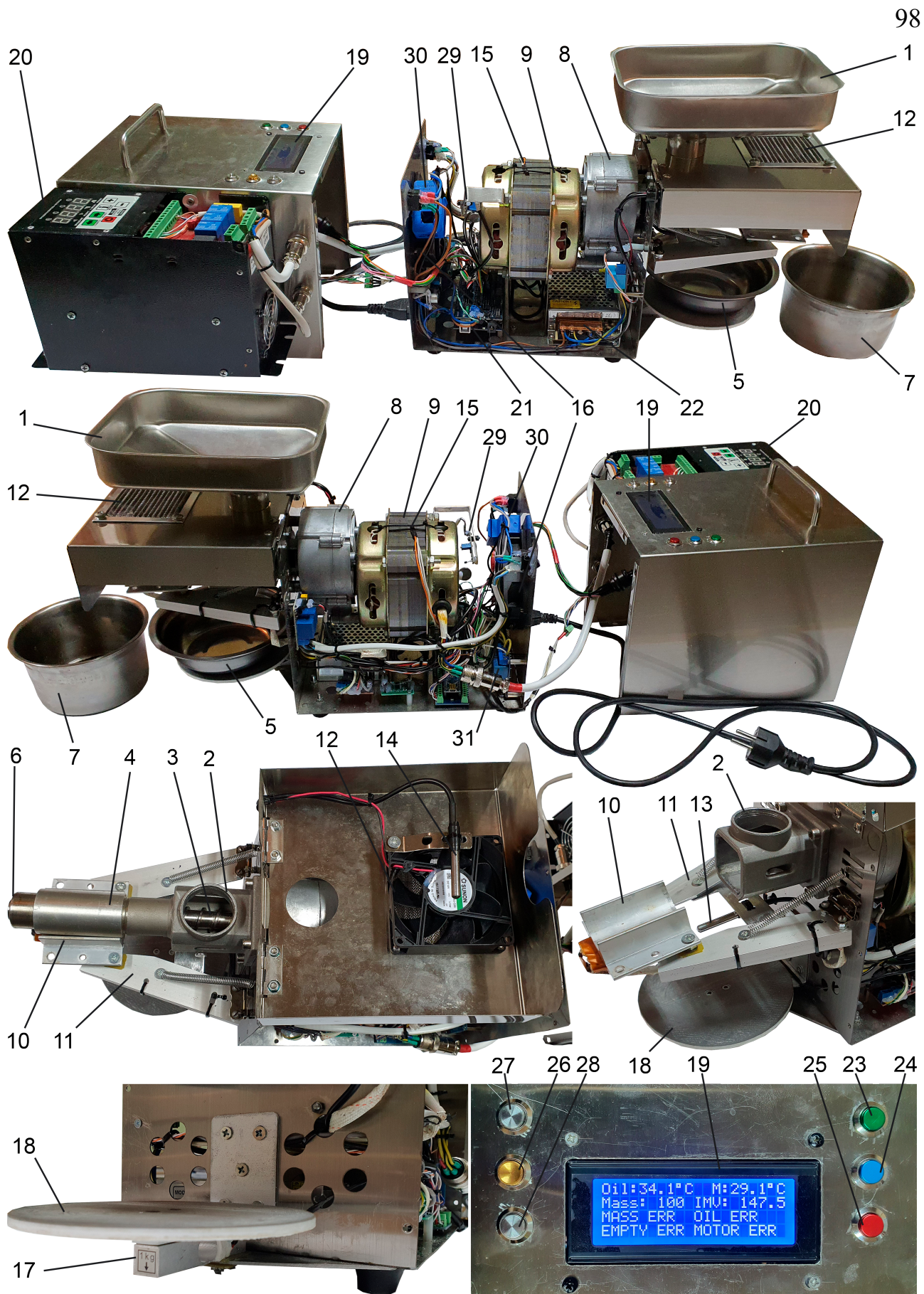


Рис. 4.1. Базові компоненти модернізованого шнекового преса

Давач маси 17 використовується для контролю маси олії, що витискається. Давач одним кінцем закріплений до корпусу преса, а іншим кінцем утримує (підтримує) основу 18, на якій розміщена олійна чаша 5.

Перед початком процесу пресування споживач задає необхідну масу олії для відтискання. Коли давач маси 17 реєструє задане значення, система керування припиняє обертання шнека. У випадку, коли маса олії не змінюється протягом заданого часу, система керування припиняє процес пресування, оскільки є ймовірність закінчення насіння або камера пресування 4 може бути забита макухою. Кожен процес зупинки супроводжується реверсивним обертанням шнека 3 для очищення камери пресування 4, а також звуковим сигналом і описом помилки, що виводиться на дисплей 19.

Система керування додатково містить частотний перетворювач 20, призначений для регулювання частоти обертання валу електродвигуна і забезпечення запрограмованих алгоритмів безперервного пуску, зупинки приводу преса.

Одним із основних компонентів системи керування є мікроконтролер Arduino Mega 21, що живиться від блоку живлення 22. На верхній пластині корпусу преса встановлені кнопки керування та дисплей 19. Зелена кнопка 23 це «СТАРТ», який вмикає процес пресування. Синя кнопка 24 служить для забезпечення реверсивного обертання гвинта 3. Червона кнопка 25 – «СТОП», яка подає сигнал на зупинку руху електроприводу. Інші три кнопки 26, 27, 28 використовуються для калібрування (скидання на нуль) давача маси олії та ручного збільшення або зменшення необхідної маси олії, що витискається.

На дисплеї 19 безперервно відображається миттєва температура олії («Oil:»), температура електродвигуна («M:»), маса олії, що знаходиться в чаші («IMV:»), і задана вручну маса олії. («Mass:»).

Запрограмовані помилки:

- MASS ERR - маса олії, яка знаходиться в чаші, перевищує задану масу;

- OIL ERR - температура олії вище технологічно допустимого значення;
- EMPTY ERR - маса витисненої олії не змінюється протягом заданого періоду часу;
- MOTOR ERR - температура електродвигуна вища за встановлену виробником.

Також якщо відбувається збій в підключенні або ж неправильне підключення датчиків температури виводиться значення “256”.

Крім того, система керування дозволяє реєструвати миттєві значення частоти обертання валу двигуна за допомогою датчика Холла 29, а струм і напругу споживання всієї системи управління та електроприводу - за допомогою амперметра 30 і вольтметра. 31.

4.2. Аналіз впливу температурних параметрів на продуктивність пресу

Температура пресувальної камери суттєво впливає на продуктивність процесу витискання олії та якісні показники олії. Цей факт обумовлює необхідність регулювання відповідної температури протягом усього процесу пресування.

Вимірювання температури здійснювалось за рахунок датчика температури Dallas DS18B20 з діапазоном вимірюваних температур від -55 до +125 °С. Вихідний цифровий код, який отримується з приладу, є прямим представленням вимірюваної температури і не вимагає додаткових операцій перетворення.

Користувач може програмно налаштувати роздільну здатність вбудованого аналого-цифрового перетворювача (АЦП) в межах від 9 до 12 бітів. Абсолютна похибка перетворення не перевищує 0.5 °С у діапазоні контрольованих температур від -10 до +85 °С. Максимальний час для повного 12-бітного перетворення становить приблизно 750 мс (при роздільній здатності 12 біт). Для підключення необхідний резистор із опором 4.7 кОм. (рис. 4.2).

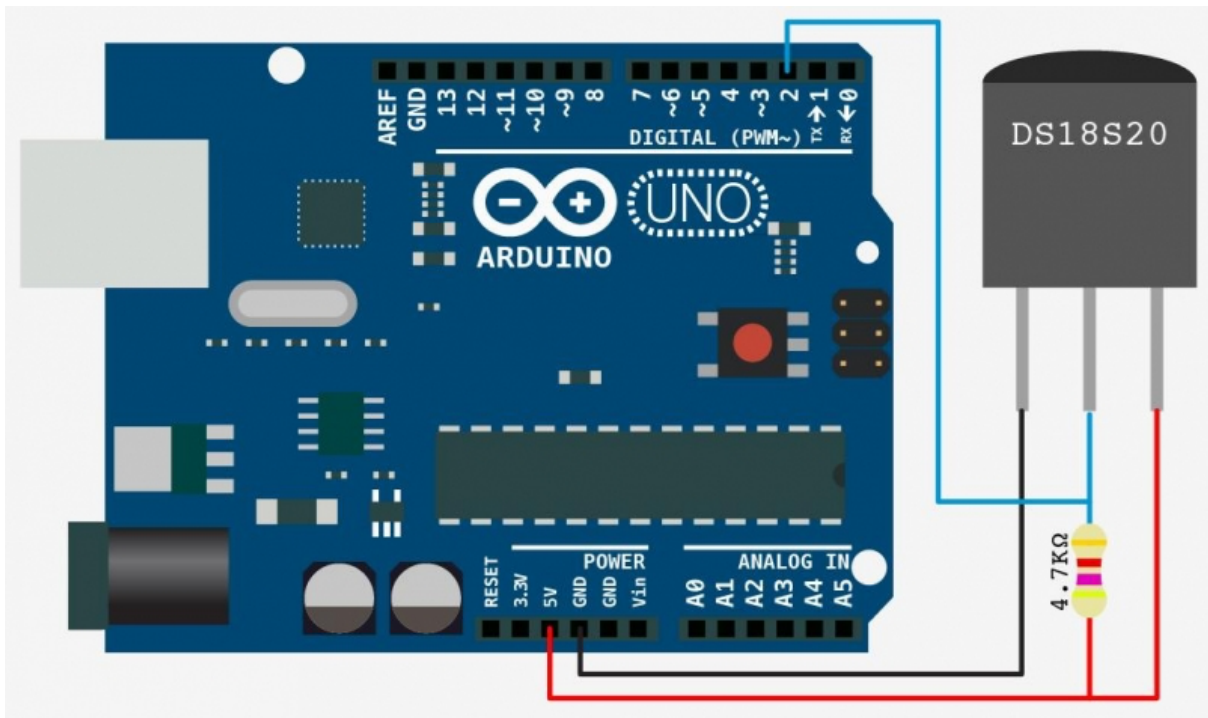


Рис. 4.2 Схема під'єднання датчика температури DS18B20 до Arduino

Внутрішня енергонезалежна пам'ять датчика DS18B20 дозволяє записувати будь-які значення верхньої та нижньої межі температурних установок. Крім того, мікросхема містить вбудований логічний механізм, що сигналізує про перевищення температури одним із вибраних порогів. Датчик DS18B20 доступний інтерфейс вузла 1-Wire, що дозволяє адресувати необмежену кількість пристроїв по однопровідній лінії.

Термометр має унікальний 64-розрядний реєстраційний номер (з кодом 028H) і може працювати без зовнішнього джерела живлення, використовуючи живлення через однопровідну лінію. Подача живлення пристрою через окремий зовнішній вивід здійснюється напругою від 3.0 В до 5.5 В.

Після подачі живлення на систему керування, відбувається сканування датчиків і обробка отриманих даних. Далі користувач задає необхідну масу олії, що витискається, і натискає кнопку «СТАРТ». Відповідно до часової залежності температури пресувальної камери (рис. 4.3), її початкове значення майже дорівнює температурі всередині лабораторного приміщення (20°C). Тому є необхідність увімкнути обігрівач і температура піднімається приблизно до 42°C протягом приблизно трьох хвилин (170...190 с.).

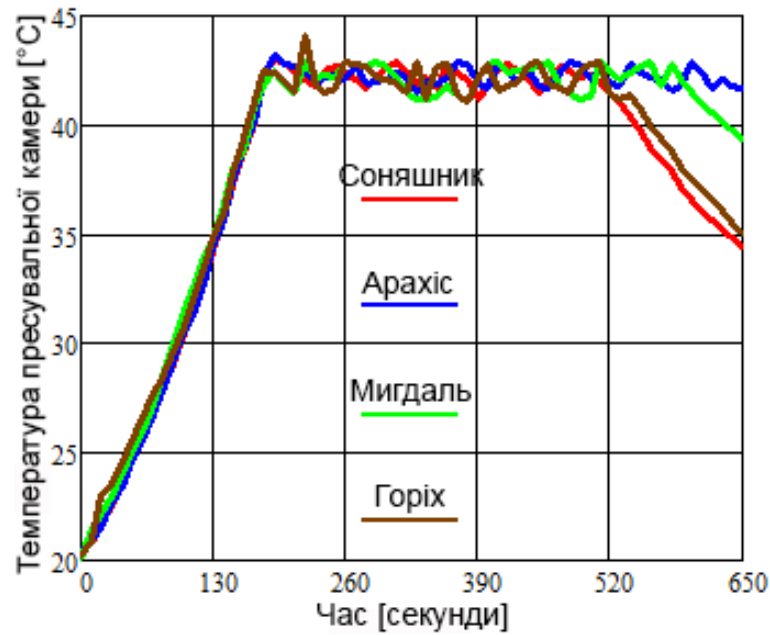


Рис. 4.3 Час зміни температури пресувальної камери

Після того, як температура пресувальної камери досягає мінімального значення, включається електродвигун і починається процес витискання олії.

Під час пресування насіння температура всередині пресувальної камери підвищується. Коли температура витисненої олії досягає значення 45°C, включається відповідний охолоджувач. Охолоджувач дозволяє обмежувати температуру пресувальної камери в діапазоні 42...44°C протягом усього процесу витискання олії. Зниження температури камери після 500 с. означає, що процес закінчено і отримано необхідну масу витисненої олії. Приблизно через 11 хвилин (650 с.), коли завершується останній процес пресування, спостерігається найнижча температура камери приблизно 34°C для випадку пресування соняшнику.

Температура витисненої олії істотно впливає на її якісні та смакові характеристики. Враховуючи зміни температури витисненої олії (рис. 4.4), вона залишається незмінною протягом приблизно трьох хвилин (170...190 с), коли відбувається процес попереднього підігріву пресувальної камери.

Після закінчення цього часу починається процес пресування, і датчик температури олії реєструє відповідні зміни. Приблизно за 2,5...3 хв олія досягає номінальної температури приблизно 60°C, яка практично не змінюється

протягом усього процесу пресування. Після вилучення необхідної маси олії процес пресування припиняється і олія починає охолоджуватися. Приблизно через 11 хвилин (650 с.), коли завершується останній процес пресування, спостерігається найнижча температура витисненої олії приблизно 55°C для випадку пресування соняшнику.

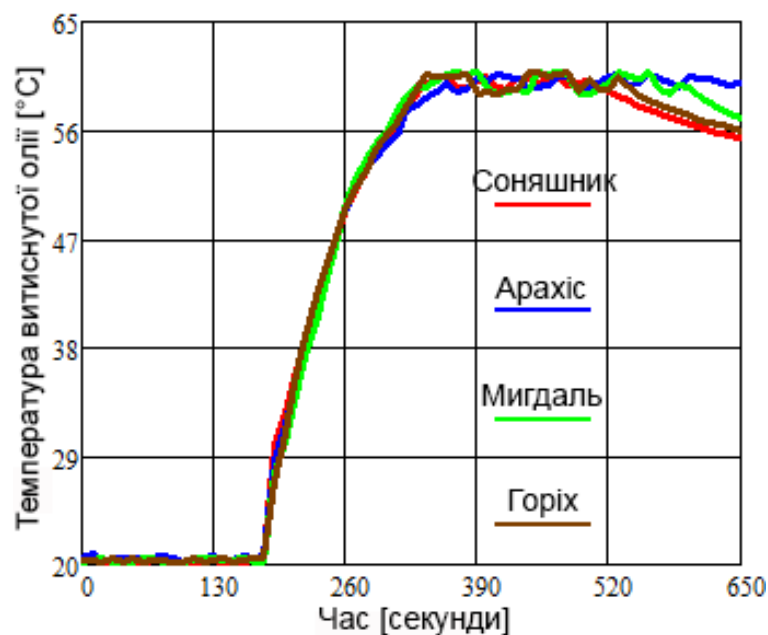


Рис. 4.4 Час зміни температури витисненої олії

Температура електродвигуна повинна бути обмежена відповідно до рекомендацій виробника. У процесі пресування, коли перетворювач частоти безперервно змінює швидкість обертання пресового шнека відповідно до запрограмованого алгоритму, температура електродвигуна значно підвищується. Щоб обмежити перегрів двигуна, вмикається відповідний охолоджувач, коли температура двигуна перевищує 70°C . Як видно на рисунку 4.5, приблизно протягом 3 хв (170...190 с.) температура двигуна майже дорівнює температурі всередині лабораторного приміщення (20°C). Потім температура підвищується приблизно до 70°C і змінюється в межах $69\text{...}71^{\circ}\text{C}$ до кінця процесу пресування.

Приблизно через 11 хв (650 с.), коли завершується останній процес пресування арахісу, спостерігається найнижча температура електродвигуна приблизно 60°C для випадку пресування соняшнику.

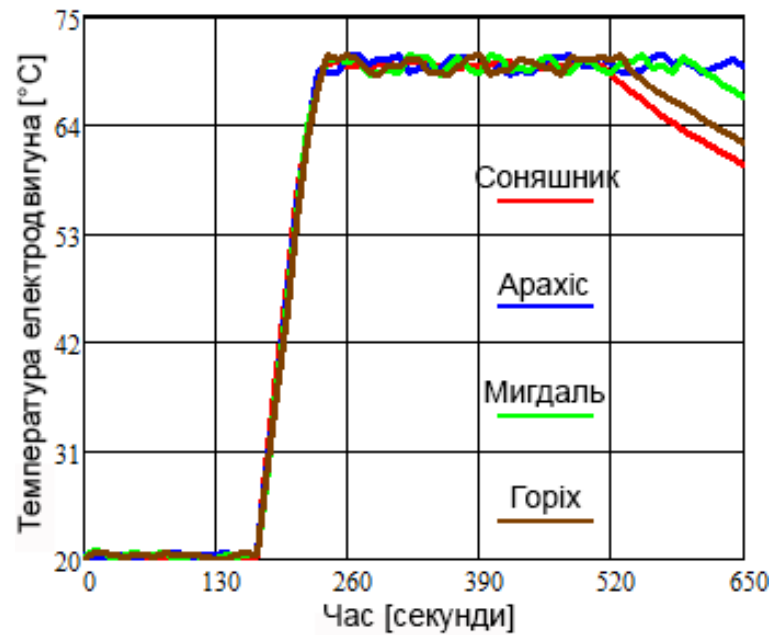


Рис. 4.5 Час зміни температури двигуна

Після подачі живлення користувач калібрує модуль HX711 відносно тензодавача (скидає його на нуль) і вибирає необхідну масу олії для витискання.

Тензодавач ваги - це пристрій, який використовується для вимірювання ваги об'єктів. Схема під'єднання тензодавача та модуля HX711 до Arduino наведена на рисунку 4.6.

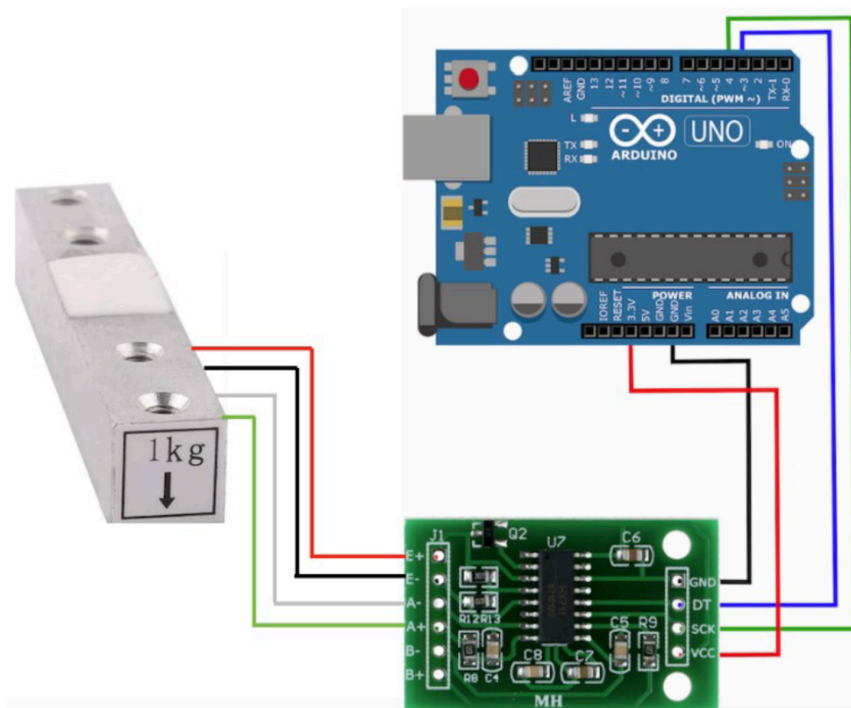


Рис. 4.6 Схема під'єднання тензодавача та модуля HX711 до Arduino

Тензодавач складається з тензометра, який зазвичай містить тонкі металеві давачі деформації, розташовані в основі або під опорною поверхнею ваги. Коли на вагу кладеться об'єкт, тензодавач відслідковує деформацію матеріалу, яка відбувається під впливом ваги, і генерує відповідний електричний сигнал. Цей сигнал обробляється та підсилюється модулем НХ711.

За замовчуванням маса витисненої олії запрограмована на 100 г. Враховуючи експериментальні дані, наведені на рис.4.7, витиснена олійна маса набуває нульових значень у процесі попереднього нагріву пресувальної камери (близько 3 хв). Потім починається процес витиснення олії, і давач маси відстежує відповідні зміни.

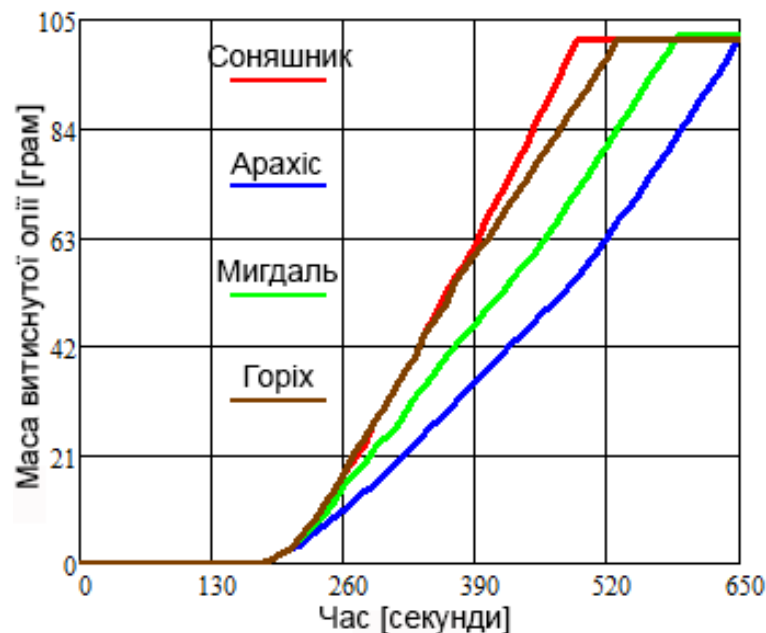


Рис. 4.7 Час зміни маси витисненої олії

При пресуванні насіння соняшнику номінальну масу витисненої олії було отримано протягом приблизно 490 с з моменту ввімкнення джерела живлення. Відповідна тривалість процесів пресування для ядер арахісу, мигдалю та волоського горіха: 650 с., 590 с. і 530 с. При цьому слід зазначити, що процес окремого пресування триває близько 300 с. (насіння соняшнику), 340 с. (ядра волоських горіхів), 400 с. (ядра мигдалю) і 460 с. (ядра арахісу).

4.3. Визначення впливу умов завантаження шнекового преса на споживаний струм його приводу

При виконанні експериментальних досліджень є важливим контроль струму і напруги, що подаються на привід преса, для різних рівнів навантаження пресової камери.

Вимірювання проводяться за допомогою датчиків струму та напруги SCT-013-030 та ZMPT101B, підключених до мікроконтролера Arduino. Мікроконтролер Arduino у поєднанні з датчиками струму та напруги, такими як SCT-013-030 і ZMPT101B, може забезпечити моніторинг у реальному часі та збір даних про продуктивність шнекового преса за різних умов навантаження.

Датчик струму вимірює споживаний струм, а датчик напруги реєструє напругу, що подається на привід. Ці датчики підключені до мікроконтролера Arduino, який оцифровує аналогові показання та обробляє їх. Ця установка дозволяє точно виміряти, як умови навантаження в камері пресування впливають на споживаний струм приводу. Дані аналізуються, щоб виявити закономірності та залежності, що може сприяти розробці алгоритмів керування для оптимізації енергоспоживання приводу гвинтового преса за різних умов навантаження.

Датчик напруги ZMPT101B є прецизійним датчиком напруги, який є трансформатором напруги з коефіцієнтом трансформації 1:1. У нашому випадку датчик вимірює напругу, яка подається на перетворювач частоти від мережі змінного струму 50 Гц (230 В). Відповідні дані обробляються мікроконтролером Arduino та надсилаються на ноутбук у вигляді залежності напруги від часу, побудованої на частоті сканування (дискретизації) 10 с^{-1} . Схема під'єднання датчика напруги ZMPT101B до Arduino зображена на рисунку 4.8.

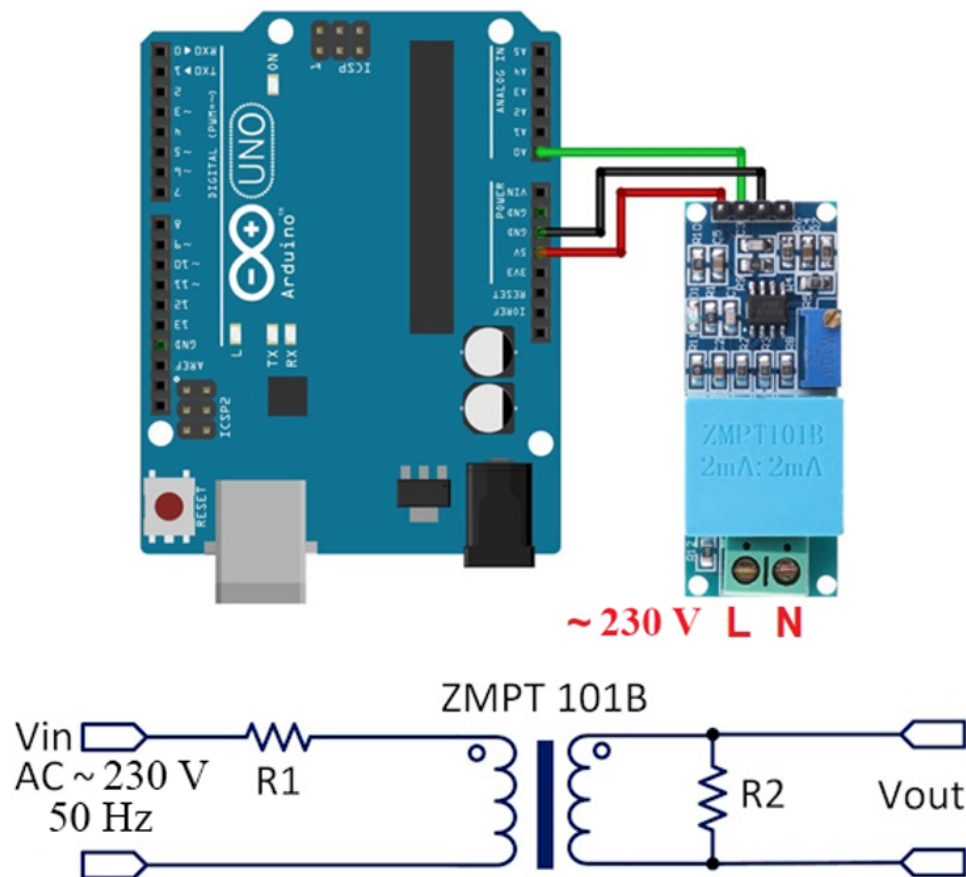


Рис. 4.8. Схема під'єднання давача напруги ZMPT101B до Arduino

Давач струму SCT-013-030 виконаний у вигляді вимірювального трансформатора, в якому роль первинної обмотки виконує провід, що проводить вимірюваний струм. Такі трансформатори виготовляють на замкнутих сердечниках у вигляді кільця з феромагнітних матеріалів. При протіканні по дроту змінного струму в котушці виникає електрорушійна сила (ЕРС), а якщо до неї підключити амперметр, то коло замикається і прилад показує силу струму, пропорційну вимірюваному. Коефіцієнт пропорційності залежить від кількості витків котушки.

Для підключення давача струму SCT-013-030 до мікроконтролера Arduino використовується додатковий SMD-резистор 62 Ом. Контролер вимірює напругу на цьому резисторі в наступному співвідношенні: напруга 1 В відповідає струму 30 А. Схема під'єднання давача струму SCT-013-030 до Arduino зображено на рисунку 4.9.

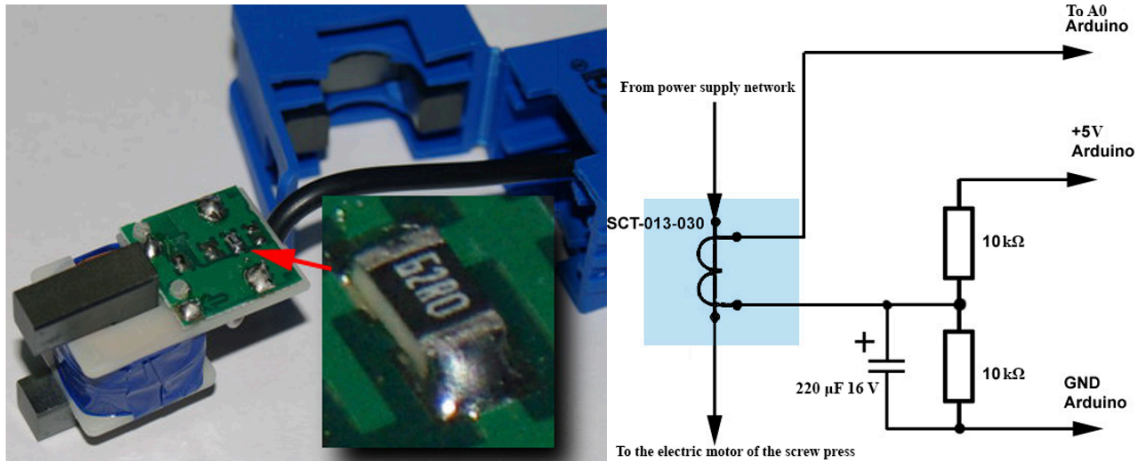


Рис. 4.9 Схеми під'єднання давача струму SCT-013-030 до Arduino

Експериментальний прототип шнекового преса на основі моделі LiangTai LTP200 представлений на рисунку 4.10.

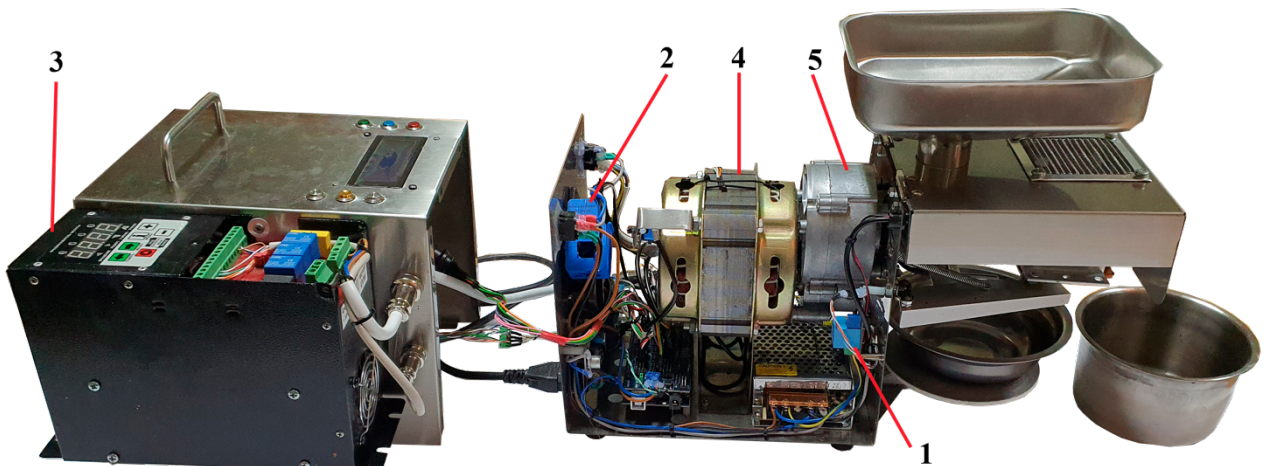


Рис. 4.10 Експериментальний зразок шнекового преса

Позиціями 1 і 2 показано розташування давачів напруги і струму відповідно. Частотний перетворювач 3 керує електродвигуном 4, який приводить в рух редуктор 5, приводячи в дію шнековий прес. Здійснено аналіз споживаного струму та напруги приводу преса при різних рівнях завантаження камери пресування. Останні визначаються як співвідношення об'єму насіння соняшнику, що завантажено в камеру, до загального активного об'єму камери (60 мл). Об'єм насіння визначають за допомогою мірної гільзи (мірної колби) і

додатково розраховують як добуток їх маси на відповідну насипну масу (410 кг/м³).

Маса вимірюється електронними вагами КУА800077. Експериментальне тестування проводили в режимі холостого ходу і при рівнях навантаження 33% (20 мл, 8,2 г), 67% (40 мл, 16,4 г) і 100% (60 мл, 24,6 г).

Аналіз зібраних експериментальних даних і залежність споживаного струму приводу шнекового преса від змінних рівнів навантаження в камері пресування. Результати експерименту наведені на рисунку 4.11.

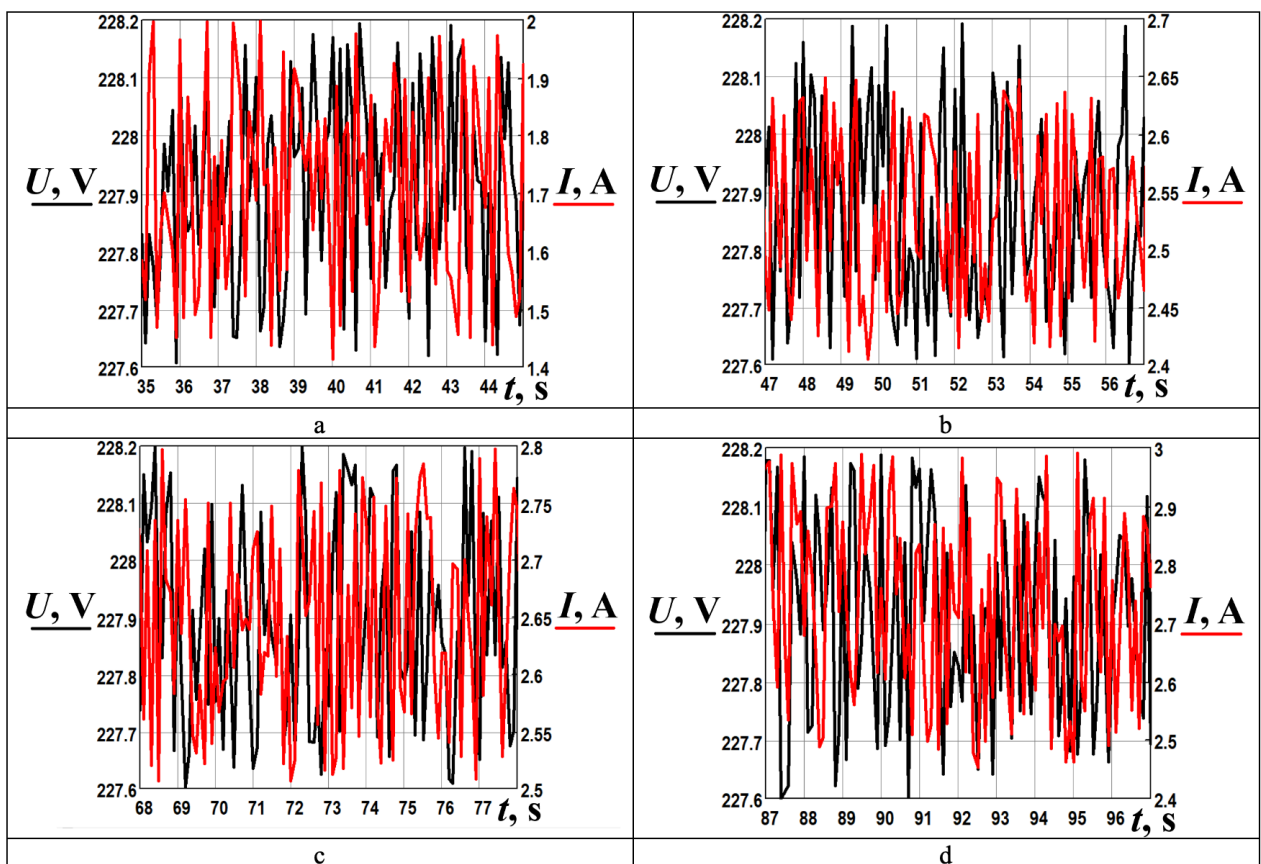


Рис. 4.11 Результати експериментальних досліджень, проведених при різних рівнях навантаження камери пресування:

- a – 0% (без навантаження); b – 33 % (20 мл, 8,2 г);
c – 67 % (40 мл, 16,4 г); d – 100% (60 мл, 24,6 г)

Розглядаючи випадок живлення шнекового преса від мережі змінного струму 50 Гц (230 В), відповідні вимірювання напруги показані чорною лінією.

Загалом напруга змінюється в межах 227,6...228,2 В незалежно від умов навантаження преса (напругу живлення беремо з мережі 230 В).

Діаграма, показана на рисунку 4.11 (а), представляє часові залежності споживаного струму приводу преса в умовах холостого ходу (червона лінія). Сила струму змінюється в межах 1,4...2 А. Тому миттєве значення споживаної потужності коливається в межах від 320 Вт до 460 Вт.

У разі завантаження пресувальної камери на рівні 33 %, тобто при подачі в камеру 20 мл насіння соняшнику, споживаний струм значно зростає і коливається в межах 2,4...2,65 А. Це дозволяє зробити висновок, що миттєве значення споживаної потужності змінюється приблизно від 540 Вт до 600 Вт. Отже, збільшення рівня навантаження на 33% (від 0 до 20 мл) викликає збільшення споживаного струму та потужності на 23...41 %.

Подальше збільшення рівня завантаження камери пресування до 67%, коли в камеру завантажується 40 мл насіння соняшнику, викликає пропорційне збільшення споживаного струму. При цьому поточне мінімальне значення становить близько 2,5 А, а максимальне досягає 2,8 А. Таким чином, миттєве значення споживаної потужності змінюється приблизно від 570 Вт до 640 Вт. Це дозволяє зробити висновок про подальше зростання рівня навантаження на 34% (з 33% до 67%) викликає збільшення споживаного струму і потужності на 5...7%.

Враховуючи випадок максимального рівня завантаження (100%), коли насінням соняшнику заповнило весь об'єм камери пресування (60 мл), номінальний струм змінюється в межах 2,45...3 А. Звідси можна зробити висновок: що миттєве значення споживаної потужності коливається від 558 Вт до 685 Вт. Тому подальше збільшення рівня навантаження на 33% (з 67% до 100% або з 40 мл до 60 мл) викликає збільшення споживаної потужності. струм і потужність приблизно на 6...7%.

Підсумовуючи, можна констатувати, що режими холостого та часткового завантаженої камери пресування використовувати не рекомендується з точки зору продуктивності шнекового преса та енергоефективності. Тому в системі управління повинна бути забезпечена можливість постійно контролювати рівень

завантаження камери пресування і змінювати кутову швидкість шнека таким чином, щоб камера пресування була максимально завантажена. Безперервний моніторинг рівня навантаження може бути реалізований різними способами. Наприклад, давач струму може бути використаний для реєстрації миттєвих значень споживаного струму. Коли його середнє значення, розраховане за вказаний проміжок часу, менше нормативного, система керування уповільнює шнек з метою підвищення рівня завантаження камери пресування. Зміна кутової швидкості шнека може бути забезпечена інтеграцією системи керування в перетворювач частоти.

Враховуючи отримані експериментальні дані (рис. 4.12), можна зробити наступний висновок.

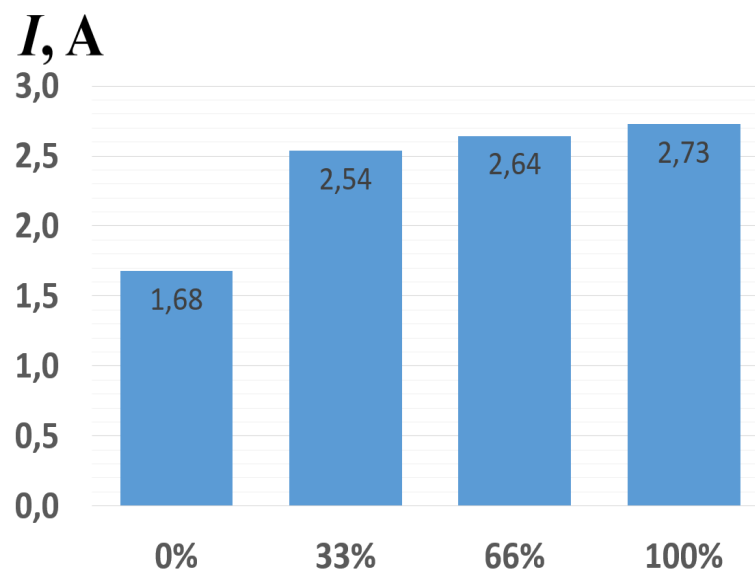


Рис. 4.12 Діаграма середнього споживаного струму приводу преса при різних рівнях завантаження камери пресування

У режимі холостого ходу середнє значення споживаного струму дорівнює 1,68 А. Таким чином, середня потужність, необхідна для приводу преса, дорівнює приблизно 380 Вт. При навантаженні пресової камери на рівні 33% середній споживаний струм зростає до 2,54 А або на 34%. Подальше збільшення рівня навантаження до 66% і 100% призводить до збільшення середнього струму до 2,64 А і 2,73 А або на 4% і 3% відповідно. Це означає, що найбільш

енергоефективна робота шнекового преса може бути забезпечена в умовах його повного навантаження.

4.5. Огляд перспектив практичного впровадження запропонованої системи керування і smart технологій у різноманітному пресувальному обладнанні.

Впровадження сучасних систем керування і smart технологій у різноманітне пресувальне обладнання відкриває широкі перспективи для оптимізації виробничих процесів і підвищення їх продуктивності. Системи керування здатні не лише автоматизувати роботу преса, а й забезпечити точність, стабільність та контроль кожного етапу процесу пресування. Вони дозволяють відстежувати параметри обладнання в режимі реального часу, автоматично коригувати налаштування для досягнення оптимальних результатів і попереджати можливі поломки або несправності.

Запропонована система керування дозволяє оптимально використовувати обладнання в залежності від температури, типу рослинного насіння, струму та напруги. Перспективи практичного впровадження таких технологій у пресувальне обладнання включають зниження витрат на енергію та матеріали, підвищення якості виробництва через усунення людських помилок, скорочення часу циклів пресування та підвищення загальної ефективності виробничих процесів у промисловому масштабі.

Так, до прикладу, подібну систему керування можна застосувати для оптимізації роботи гідравлічного преса. При роботі гідравлічного преса важливими є такі показники:

- **Тиск:** Це один з найважливіших параметрів, який впливає на ефективність витискання олії. Надто високий тиск може призвести до зниження якості олії.
- **Температура:** Від температури витиску також залежить якість отриманої олії. Занадто висока температура може призвести до окислення олії, а навпаки, зменшує об'єм отриманої олії.

- Час витиску: Від часу, протягом якого насіння перебуває під впливом тиску, залежить кількість витиснутої олії і її якість.

Впровадження системи керування для забезпечення оптимальних параметрів витиску допоможе підвищити продуктивність і якість олії.

Давачі та регулятор тиску дозволять встановити і підтримувати оптимальний рівень тиску для конкретного процесу витискування олії. Давачі вимірюють рівень тиску в реальному часі і передають ці дані до контролера. Якщо тиск виявляється вищим або нижчим за задані параметри, контролер автоматично корегує роботу гідравлічної системи, щоб встановити правильний тиск.

Так само можна реалізувати постійний моніторинг температури та часу витискання протягом всього процесу. Ще один варіант застосування подібної системи керування – шнекові соковижималки. Принцип їхньої роботи дуже схожий на технологію шнекового пресу для витискання олії. Час роботи, температура, тиск, швидкість обертання шнеку – параметри, які впливають на якість та кількість отриманого соку. Система керування дозволить автоматично регулювати швидкість обертання або тиск залежно від типу фруктів чи овочів, щоб оптимізувати процес витискання соку.

Отже, практичне впровадження системи керування та smart-технологій у пресувальне обладнання може відкрити нові перспективи для промисловості і поліпшити її ефективність та продуктивність.

4.6. Встановлення шляхів подальшого удосконалення системи керування шнекового преса для виробництва рослинних олій

Контроль за роботою шнекового преса для виробництва олії є надзвичайно актуальним завданням. Моніторинг та контроль дозволяє забезпечити оптимальну ефективність роботи преса, збільшити виробничу потужність і зберегти високу якість отриманої олії.

Одним із таких напрямків є контроль навантаження та рівня заповнення шнекового пресу. Коли шнековий прес оптимально заповнений, він може генерувати достатній тиск для ефективного витискування олії. Надмірне або недостатнє навантаження може вплинути не тільки на вихід олії, але і на її якість, оскільки неконтрольоване навантаження може призвести до перегріву матеріалу. Обережне ставлення до навантаження також важливе для забезпечення довговічності обладнання. Занадто велике навантаження може призвести до зайвого тиску та теплового навантаження, що може прискорити знос обладнання. Крім того, неконтрольоване перевантаження може призвести до поломки обладнання або аварій.

Навантаження шнекового преса можна оцінити за допомогою використання акустичних сигналів, які виникають під час роботи преса. Під час екстракції олії відбувається кілька процесів, таких як подрібнення насіння, стиснення та екстракція олії. Кожен із цих процесів має характерні акустичні сигнали, які можна проаналізувати для визначення стану та ефективності преса. Звук, який створюється під час роботи гвинтового преса, може надати важливу інформацію про його стан і рівень наповнення.

Відмінності у звуках який видає прес будуть залежати від таких факторів, як рівень навантаження або швидкість шнека. Наприклад, коли шнековий прес заповнений (рис. 2) або перевантажений, звук може бути приглушеним або насиченим через велику кількість матеріалу, що обробляється. Машинне навчання (ML) [93] може бути використане в процесі впровадження моніторингу та контролю за рівнем навантаження пресу. Машинне навчання є популярною галуззю, що швидко розвивається за рахунок своїх передових алгоритмів і можливості впізнавати невідомі закономірності за допомогою моделей та статистичних підходів [94].

Платформа Edge Impulse [95] є провідною платформою розробки машинного навчання для вбудованих пристроїв та безкоштовною дана платформа була використана задля навчання та впровадження моделі машинного

навчання. Edge Impulse не тільки забезпечує ефективне навчальне середовище для моделі, але й підтримує розгортання цієї моделі в системі реального часу.

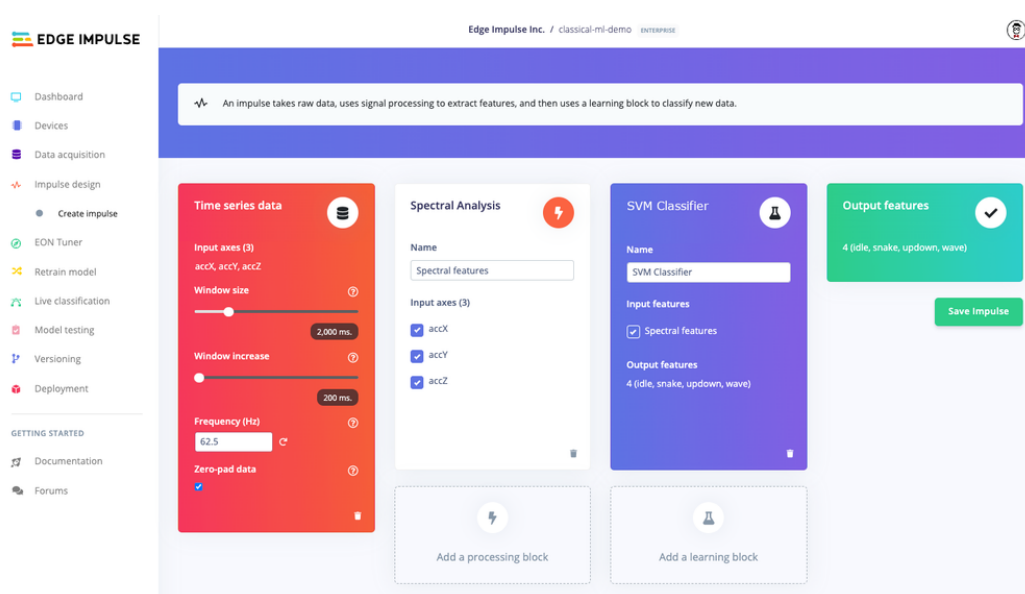


Рис. 4.13 Робоче середовище платформи Edge Impulse

Arduino ML [96, 97] - є потужним інструментом, який надає можливість навчати моделі машинного навчання і розгортати їх на мікроконтролерах Arduino після успішного навчання. Цей інструмент дозволяє розробникам створювати інтелектуальні пристрої, які можуть виконувати аналіз даних і приймати рішення на основі зібраних даних без необхідності підключення до хмарних служб або зовнішніх серверів. Ви можете використовувати його для побудови прогностичних моделей всього лише кількома рядками коду. Він працює безперешкодно на мобільних пристроях і повністю інтегрований з підтримуваними платами Arduino.

Підключення Arduino до Інтернету [98] розширює можливості керування шнековим пресом і збору даних, надаючи такі переваги:

1. Дистанційне керування. Через веб-інтерфейс або мобільний додаток можна керувати шнековим пресом з будь-якої точки світу. Це забезпечує зручність керування та дозволяє віддалено втручатися у процес виробництва.
2. Збір даних в реальному часі. Arduino може збирати дані про роботу шнекового пресу і передавати їх в Інтернет для моніторингу в реальному

часі. Це дозволяє оперативнo виявляти проблеми, вдосконалювати процеси та уникати аварійних ситуацій.

3. Віддалена діагностика і обслуговування. Інтернет-підключення дозволяє віддалено відслідковувати стан обладнання, виявляти несправності та негайно реагувати на них.
4. Інтеграція з іншими системами. З даними, які збираються інтернет-підключеним Arduino, можна інтегруватися з іншими системами керування, виробництвом або зберігати дані у хмарних сервісах для подальшого аналізу та використання.

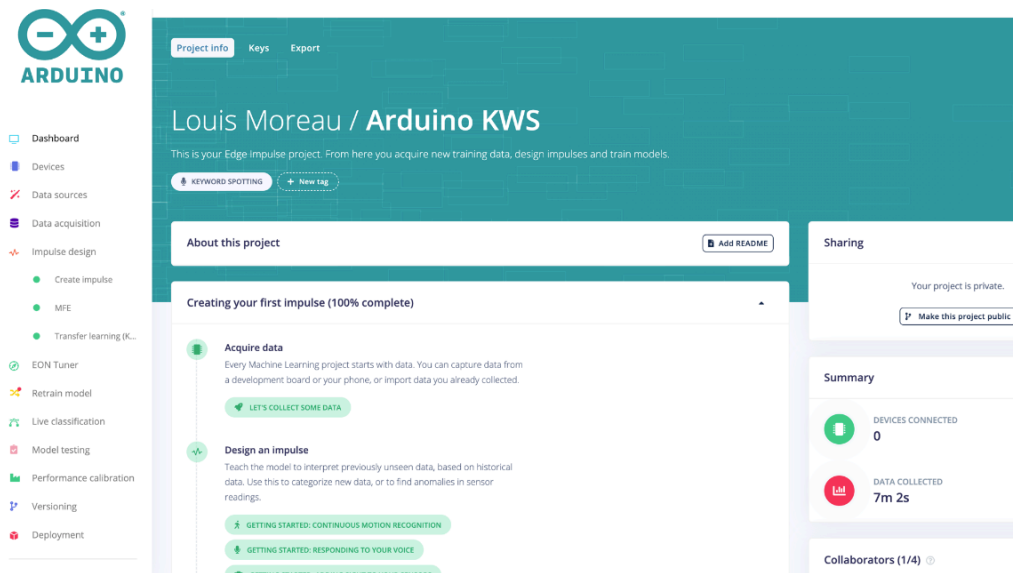


Рис. 4.14 Робоче середовище платформи Arduino ML

Для змоги під'єднання Arduino до інтернету необхідно використати додатковий Wi-Fi модуль ESP8266 [99, 100]. За допомогою вбудованого стеку протоколу TCP/IP та можливості управління AT-командами, цей модуль призначений для застосування в різних пристроях, таких як інтелектуальні розетки, IP-камери, mesh-мережі, бездротові сенсори, мобільна електроніка та інше [101, 102]. ESP8266 створений для того, щоб стати основою для майбутнього розвитку «Інтернету речей». Схема під'єднання Wi-Fi модуля ESP8266 до Arduino наведено на рисунку 4.24.

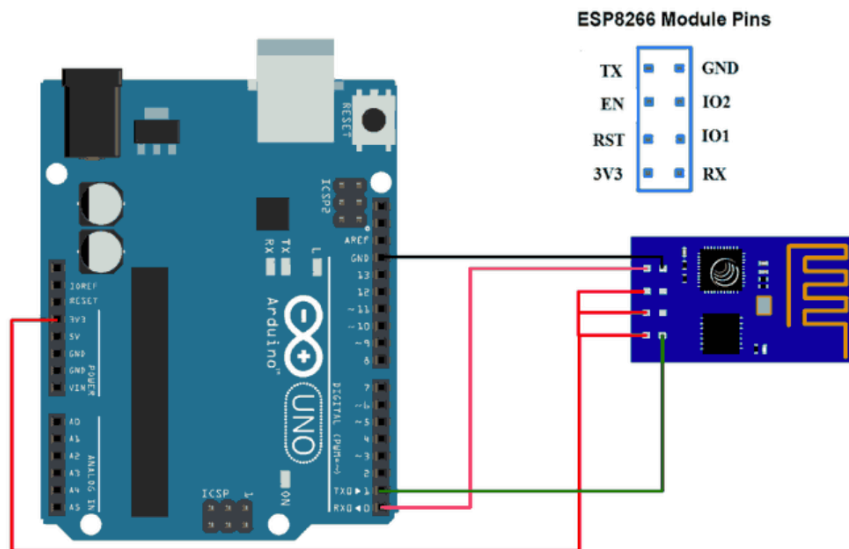


Рис. 4.24 Схема під'єднання Wi-Fi модуля ESP8266 до Arduino

Підключення Arduino до Інтернету дозволяє забезпечити більш ефективне, автоматизоване та контрольоване виробництво з використанням шнекового пресу, що призводить до покращення якості продукції і оптимізації виробничих процесів.

Шляхом порівняння акустичних сигналів, отриманих під час різних станів преса (рис. 4.15, рис. 4.16), можна навчити модель машинного навчання класифікувати та автоматично визначати стан преса [103]. Модель може аналізувати характеристики звукового сигналу, такі як частота, амплітуда, спектральні властивості тощо, і на основі цього робити висновки про стан преса.

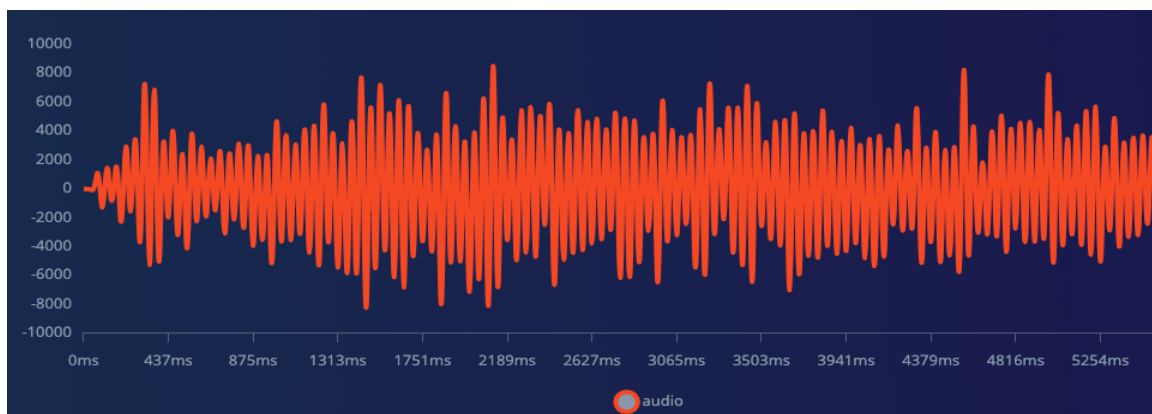


Рис. 4.15 Форма звуку роботи шнекового преса з насінням.

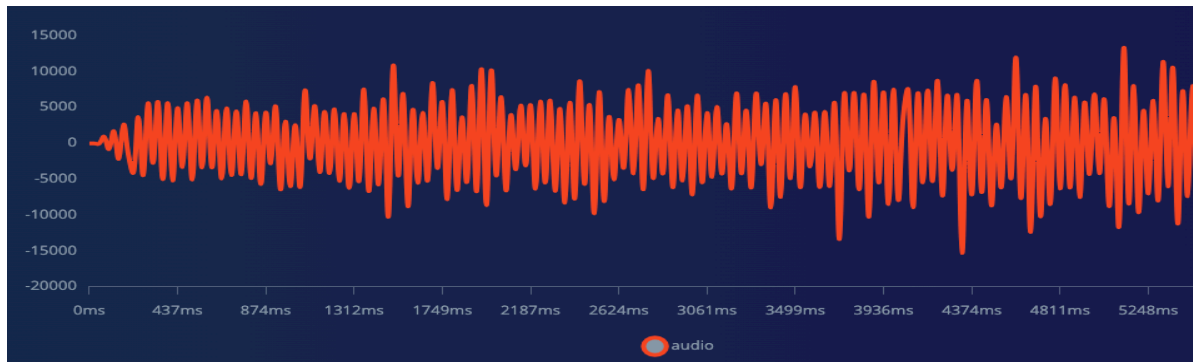


Рис. 4.16 Форма звуку роботи шнекового пресу без насіння.

Для того, щоб навчити модель, як класифікувати шум від шнекового преса, початковим кроком є надання їй зразка аудіо, який вона зможе навчитися ідентифікувати (рис. 4.17). Для навчання моделі використовується техніка, відома як навчання під наглядом. Модель проходить тренування з використанням наявних даних і отримує інформацію про те, чи виявились її прогнози точними чи ні. У випадку навчання під наглядом для класифікації шуму (аудіо) об'єкти заздалегідь позначають відповідними назвами, щоб модель могла їх розрізнити.

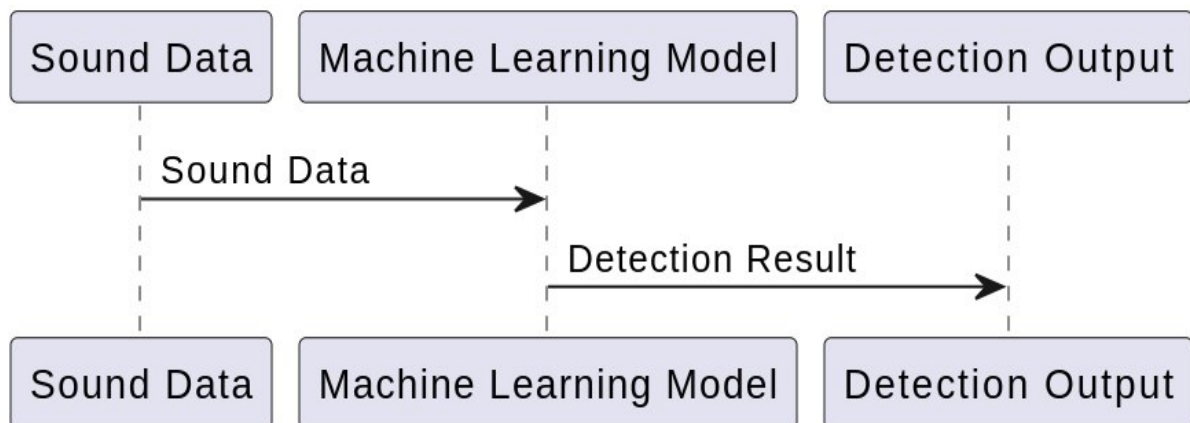


Рис. 4.17 UML діаграма для відслідковування завантаженості шнекового пресу

На основі аналізу звукових даних було ідентифіковано 2 різні спектральні ділянки (рис. 4.18, рис. 4.19). Перший спектральний графік відображає звук роботи шнекового преса без насіння, а другий – з насінням.

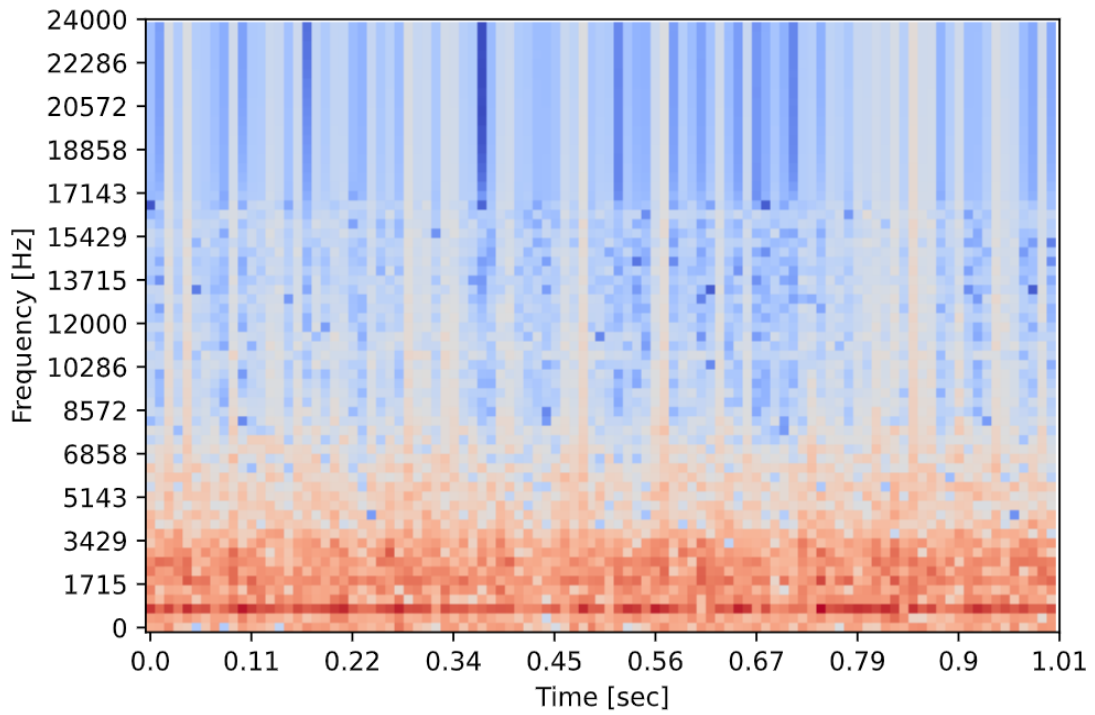


Рис. 4.18 Діаграма спектру роботи шнекового преса без насіння.

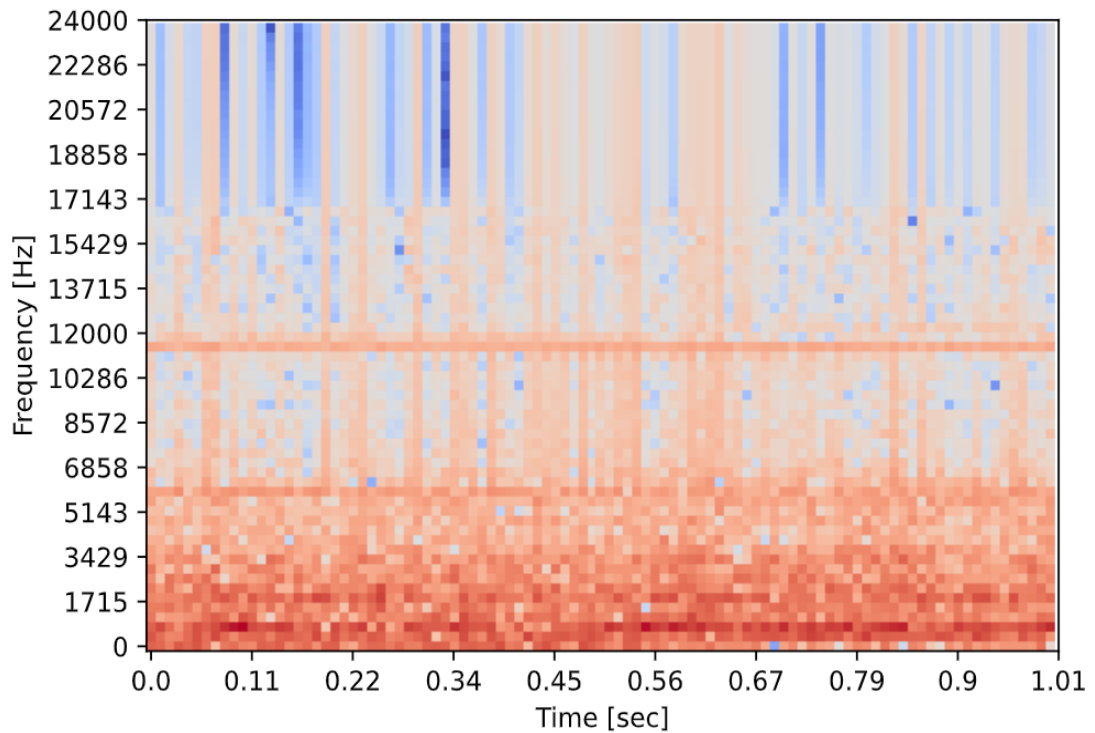


Рис. 4.19 Діаграма спектру роботи шнекового преса з насінням.

```
Training output CPU (0)

[ 0/241] Creating embeddings...
[241/241] Creating embeddings...
Creating embeddings OK (took 5 seconds)

Calculating performance metrics...
Calculating inferencing time...
INFO: Created TensorFlow Lite XNNPACK delegate for CPU.
Calculating inferencing time OK
Calculating float32 accuracy...
INFO: Created TensorFlow Lite XNNPACK delegate for CPU.
Calculating int8 accuracy...

Model training complete

Job completed
```

Рис. 4.20 Інформація про завершення тренування

Таким чином, за допомогою машинного навчання та аналізу звукових даних під час витискання олії можна відстежувати і контролювати ступінь завантаження шнекового пресу.

Ще одним із методів удосконалення системи керування шнекового преса може бути використання машинного навчання та мікроконтролера Arduino для розпізнавання виду насіння, що завантажуються, і виставленню відповідних оптимальних умов витискання олії.

Під час роботи шнекового преса для насіння соняшнику ключовими параметрами, що впливають на екстрагування олії є температура та швидкість пресування. Підтримка оптимальної температури забезпечує високий вихід олії та збереження поживних якостей. Оптимальна швидкість має вирішальне значення для ефективного подрібнення насіння без перегріву олії. Саме тому важливо обрати правильний режим роботи відповідно до сировини.

Для реалізації цього методу у режимі реального часу на чаші для завантаження насіння буде встановлено камеру для постійного моніторингу надходження насіння, інтегровану з контролером Arduino [104]. За допомогою моделі, навченої на різних зображеннях насіння, система зможе ідентифікувати та класифікувати тип насіння в реальному часі. На основі класифікатора насіння шнековий прес може автоматично налаштувати оптимальні робочі параметри,

такі як висота зазору, температура та швидкість пресування, специфічні для ідентифікованого типу насіння. Впровадження цієї моделі гвинтового преса зменшує людські помилки та усуває перешкоди за допомогою автоматизованих коригувань для кожного ідентифікованого об'єкта. Крім того, універсальність моделі дозволяє її тренувати для різних прикладних інженерних завдань.

Для аналізу в згорткових нейронних мережах (CNN) і автокодерах було зібрано різноманітний набір даних насіння соняшнику та гарбуза в різних станах (з лущинням і без лущиння). Зображення були зроблені за різних умов освітлення для кращого моделювання.

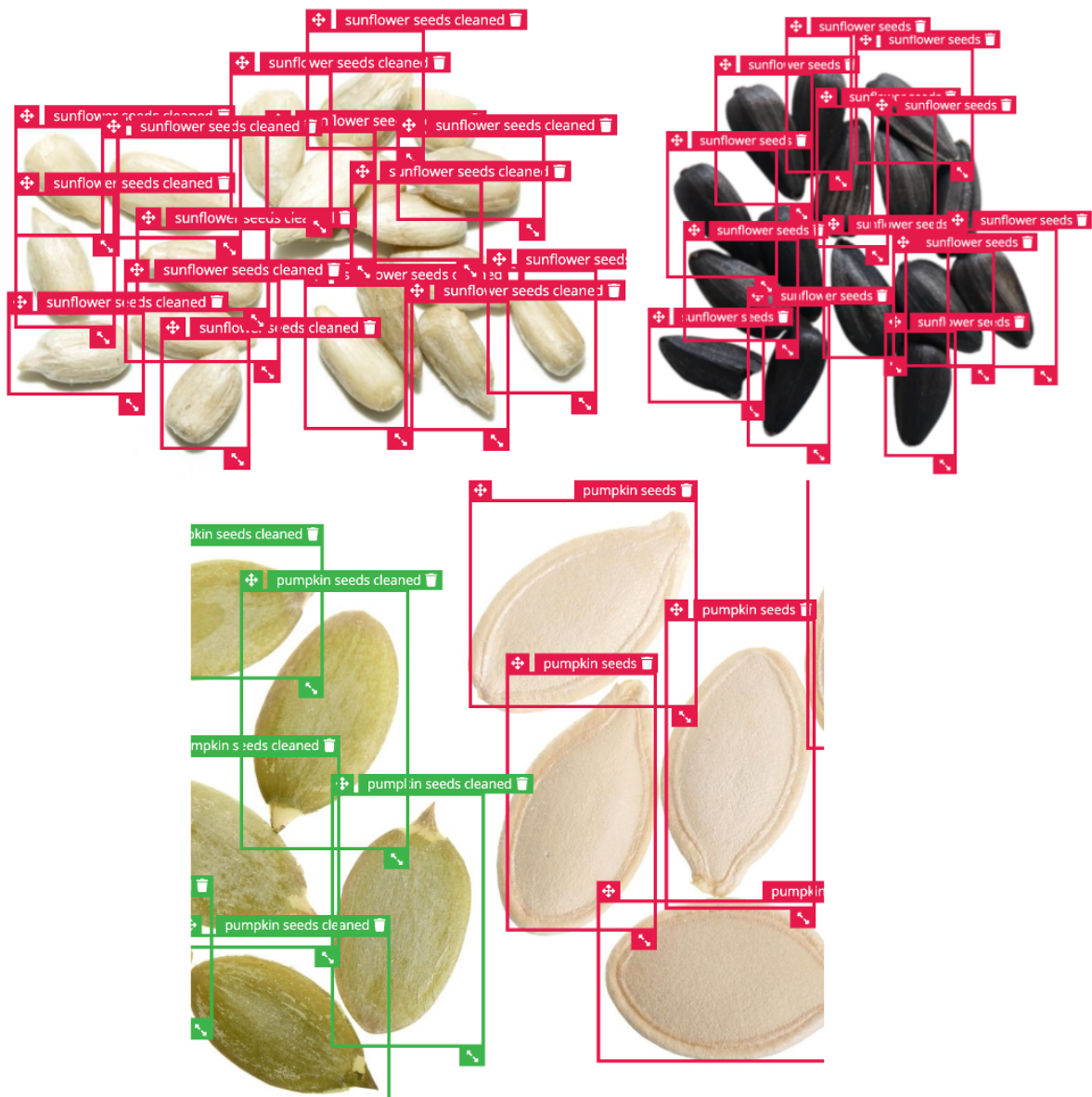


Рис. 4.21 Визначення типу насіння

Згорточна нейронна мережа (CNN) містить згорточні шари для виділення ознак, а потім функції активації, такі як ReLU для нелінійності. Об'єднання шарів зменшує вибірку карт функцій, тоді як повністю підключені шари вивчають функції високого рівня для класифікації/регресії. Вихідний рівень створює остаточні прогнози. Завдяки тренуванню з позначеними даними CNN вчиться виділяти особливості та робити точні прогнози.

Крім того, щоб зробити аналіз даних більш ефективним і цілеспрямованим, була застосована техніка, відома як анотація обмежувальної рамки. Це передбачало позначення зони інтересу – зерна – на кожному зображенні, що дозволяє платформі зосереджуватися виключно на визначеній області під час навчання моделі.

Використовуючи анотовані зображення, система навчила модель розрізняти насіння соняшнику, гарбузове насіння та порожню годівницю. Завдяки ітераційним циклам навчання під наглядом, перевірки і тестування точність і продуктивність моделі покращилися. Це ретельне навчання підвищує продуктивність і наукове розуміння розпізнавання функцій в алгоритмах машинного навчання

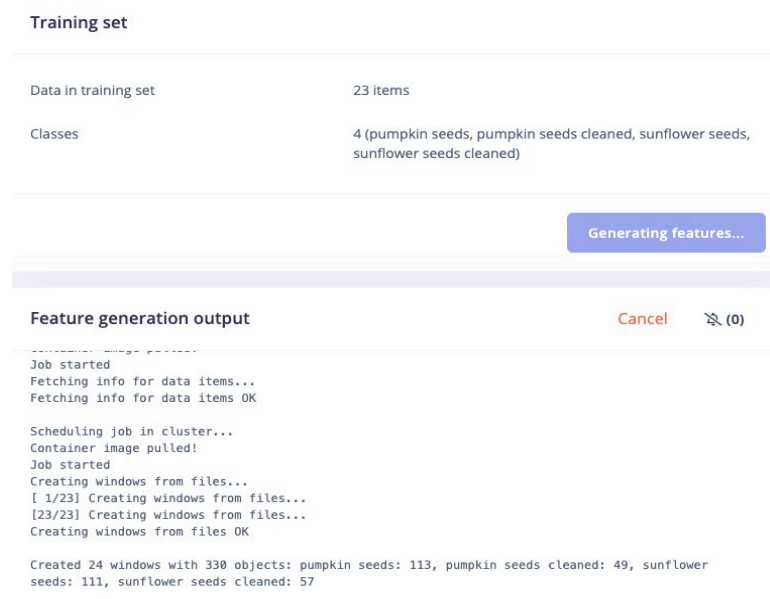


Рис. 4.22 Тренувальний процес

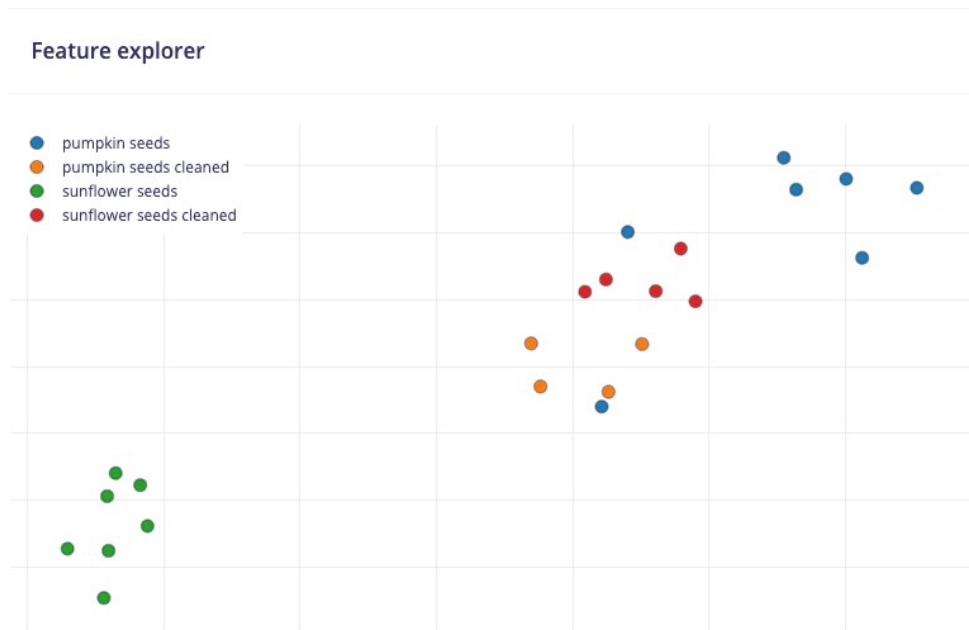


Рис. 4.23 Графік усіх даних у наборі даних

Отже, одним із продуктивних шляхів подальшого удосконалення системи керування шнекового преса для виробництва рослинних олій є використання машинного навчання та автоматизації для розпізнавання певних ознак та налаштування параметрів роботи шнекового преса відповідно до визначених ознак.

Висновки до розділу

Загальний висновок за цими підрозділами досліджень демонструє значущість експериментального підходу до вивчення технологічних процесів пресування рослинних олій і використання отриманих даних для підвищення продуктивності та ефективності виробництва.

У результаті було розроблено дослідний зразок модернізованого шнекового преса для витискання олії із системою керування. За допомогою давачів система здатна зчитувати інформацію про поточний стан преса, і адаптувати параметри роботи відповідно до отриманої інформації і заданої логіки.

Встановлено, що температура електродвигуна повинна бути обмежена відповідно до рекомендацій виробника. Пропонована система керування забезпечує можливість регулювання частоти обертання шнека і температури

камери пресування. Температура знижується шляхом застосуванням додаткових електроохолоджувачів з регульованою частотою обертання, коли температура двигуна перевищує 70°C. Для проведення дослідів обрано номінальну масу олії 100 г. Процеси пресування без урахування тривалості попереднього підігріву тривали близько 300 с. для насіння соняшнику, 340 с. для волоського горіха, 400 с. для мигдалю, 460 с. для арахісу. Отже, відповідна продуктивність олії для розглянутого преса визначена як: 1,2 кг/год, 1,06 кг/год, 0,9 кг/год, 0,78 кг/год.

Дослідження впливу умов завантаження шнекового преса на споживаний струм його приводу має на меті визначити оптимальні параметри експлуатації для забезпечення енергоефективності та економії ресурсів. На основі отриманих результатів досліджено, що найбільш енергоефективна робота шнекового преса може бути забезпечена в умовах його повного навантаження.

Огляд перспектив практичного впровадження запропонованої системи керування і smart технологій у різноманітному пресувальному обладнанні, такому як гідравлічні преси чи соковижималки, підкреслює важливість інноваційних підходів до автоматизації та підвищення ефективності виробництва.

Подальше удосконалення системи керування шнекового преса полягає у контролі навантаження та рівня заповнення шнекового пресу за допомогою використання моделей машинного навчання, що здатні розпізнати звукові сигнали та зображення.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливе наукове завдання модернізації системи керування шнекового преса для забезпечення його автоматизованого функціонування із різними типами олієвмісних культур шляхом упровадження низки контрольно-вимірювальних елементів і програмованого контролера. Задля досягнення мети було здійснено наступне:

1. Проаналізовано інформаційні джерела за тематикою дисертації, оглянуто сучасні методи та технології отримання рослинної олії, описано основні види пресувального обладнання, їхні технічні особливості, а також переваги і недоліки.
2. На основі попереднього аналізу було розглянуто можливості та напрями автоматизації керування роботою преса із використанням smart технологій. Запропоновано систему автоматизованого керування що здатна отримувати інформацію про поточну температуру, масу, напругу і струм, та на основі цього змінювати робочі параметри шнекового пресу. Описано алгоритм роботи запропонованої системи керування та побудовано блок-схему процесу. Розроблено функціональну схему та підібрано необхідне обладнання для реалізації системи.
3. Здійснено математичне моделювання, виведено аналітичні залежності для розрахунку продуктивності преса, тиску у прикінцевій камері витискання макухи та корисної потужності, яка затрачається в процесі витискання олії. Проведено імітаційне моделювання роботи преса програмному продукті Wolfram Mathematica.
4. Проведено експериментальні дослідження автоматизованого процесу витискання олії на основі дослідного зразку модернізованого шнекового преса із системою керування. Модернізована система використовує давачі для зчитування інформації про поточний стан преса, і адаптує параметри роботи задля досягнення максимальної ефективності. Було визначено, що ефективність роботи шнекового преса можна значно підвищити,

підтримуючи максимальні рівні навантаження та відповідно модулюючи кутову швидкість шнека.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Savva, S. C., & Kafatos, A. (2015). Vegetable Oils: Dietary Importance. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 365–372). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00709-1>
2. Sharma, K., Kumar, M., Lorenzo, J. M., Guleria, S., & Saxena, S. (2023, January 1). Manoeuvring the physicochemical and nutritional properties of vegetable oils through blending. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*. John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/aocs.12661>
3. Statista. (2024). Consumption of vegetable oils worldwide from 2013/14 to 2023/2024, by oil type (in million metric tons). Consumer Goods & FMCG\Food & Nutrition. US Department of Agriculture; USDA Foreign Agricultural Service. Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/263937/vegetable-oils-global-consumption/>
4. Cimino, C., Maurel, O. M., Musumeci, T., Bonaccorso, A., Drago, F., Souto, E. M. B., ... Carbone, C. (2021, March 1). Essential oils: Pharmaceutical applications and encapsulation strategies into lipid-based delivery systems. *Pharmaceutics*. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13030327>
5. Woma, T. Y., Lawal, S. A., Abdulrahman, A. S., Olutoye, M. A., & Ojapah, M. M. (2019). Vegetable oil based lubricants: Challenges and prospects. *Tribology Online*, 14(2), 60–70. <https://doi.org/10.2474/trol.14.60>
6. Brêda, G. C., Aguiéiras, E. C. G., Cipolatti, E. P., Greco-Duarte, J., Collaço, A. C. de A., Costa Cavalcanti, E. D., ... Freire, D. M. G. (2022, June 1). Current approaches to use oil crops by-products for biodiesel and biolubricant production: Focus on biocatalysis. *Bioresource Technology Reports*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101030>
7. Tian M, Bai Y, Tian H, Zhao X. The Chemical Composition and Health-Promoting Benefits of Vegetable Oils—A Review. *Molecules*. 2023; 28(17):6393. <https://doi.org/10.3390/molecules28176393>

8. M. Zhang, O. Wang, S. Cai, L. Zhao, L. Zhao, Composition, functional properties, health benefits and applications of oilseed proteins: A systematic review. *Food Research International*. 171 (2023), doi:10.1016/j.foodres.2023.113061.
9. Drinić, Z., Mudrić, J., Zdunić, G., Bigović, D., Menković, N., & Šavikin, K. (2020). Effect of pomegranate peel extract on the oxidative stability of pomegranate seed oil. *Food Chemistry*, 333. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127501>
10. Sharmeen, J. B., Mahomoodally, F. M., Zengin, G., & Maggi, F. (2021, February 1). Essential oils as natural sources of fragrance compounds for cosmetics and cosmeceuticals. *Molecules*. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules26030666>
11. Yao, Y., & Xu, B. (2021, December 1). New insights into chemical compositions and health promoting effects of edible oils from new resources. *Food Chemistry*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130363>
12. Pokkanta, P., Sookwong, P., Tanang, M., Setchaiyan, S., Boontakham, P., & Mahatheeranont, S. (2019). Simultaneous determination of tocopherols, γ -oryzanol, phytosterols, squalene, cholecalciferol and phylloquinone in rice bran and vegetable oil samples. *Food Chemistry*, 271, 630–638. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.225>
13. Tańska, M., Mikołajczak, N., & Konopka, I. (2018). Comparison of the effect of sinapic and ferulic acids derivatives (4-vinylsyringol vs. 4-vinylguaiacol) as antioxidants of rapeseed, flaxseed, and extra virgin olive oils. *Food Chemistry*, 240, 679–685. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.007>
14. Nehdi, I. A., Sbihi, H. M., Tan, C. P., Rashid, U., & Al-Resayes, S. I. (2018). Chemical Composition of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Seed Oil from Six Saudi Arabian Cultivars. *Journal of Food Science*, 83(3), 624–630. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14033>
15. Yang, J., Wen, C., Duan, Y., Deng, Q., Peng, D., Zhang, H., & Ma, H. (2021, December 1). The composition, extraction, analysis, bioactivities,

- bioavailability and applications in food system of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) oil: A review. *Trends in Food Science and Technology*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.09.025>
16. Miras-Moreno, B., Sabater-Jara, A. B., Pedreno, M. A., & Almagro, L. (2016, September 28). Bioactivity of Phytosterols and Their Production in Plant in Vitro Cultures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b02345>
17. Yang, R., Xue, L., Zhang, L., Wang, X., Qi, X., Jiang, J., ... Li, P. (2019). Phytosterol contents of edible oils and their contributions to estimated phytosterol intake in the Chinese diet. *Foods*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/foods8080334>
18. Feng, S., Xu, X., Tao, S., Chen, T., Zhou, L., Huang, Y., ... Ding, C. (2022). Comprehensive evaluation of chemical composition and health-promoting effects with chemometrics analysis of plant derived edible oils. *Food Chemistry: X*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100341>
19. Jayathilaka, N., & Seneviratne, K. N. (2022). Phenolic antioxidants in coconut oil: Factors affecting the quantity and quality. A review. *Grasas y Aceites*, 73(3). <https://doi.org/10.3989/GYA.0674211>
20. Mikołajczak, N., Tańska, M., & Ogrodowska, D. (2021, July 1). Phenolic compounds in plant oils: A review of composition, analytical methods, and effect on oxidative stability. *Trends in Food Science and Technology*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.046>
21. Đurđević, S., Šavikin, K., Živković, J., Böhm, V., Stanojković, T., Damjanović, A., & Petrović, S. (2018). Antioxidant and cytotoxic activity of fatty oil isolated by supercritical fluid extraction from microwave pretreated seeds of wild growing *Punica granatum* L. *Journal of Supercritical Fluids*, 133, 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.10.021>
22. Jeyakumar, N., & Narayanasamy, B. (2020). Effect of natural antioxidants on oxidation stability of jackfruit seed oil (*Artocarpus heterophyllus*) biodiesel.

Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects.
<https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1746442>

23. Sanwal, N., Mishra, S., Sahu, J. K., & Naik, S. N. (2022). Effect of ultrasound-assisted extraction on efficiency, antioxidant activity, and physicochemical properties of sea buckthorn (*Hippophae salicifolia*) seed oil. *LWT*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112386>
24. Divya, P. M., Roopa, B. S., Manusha, C., & Balannara, P. (2023, February 1). A concise review on oil extraction methods, nutritional and therapeutic role of coconut products. *Journal of Food Science and Technology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05352-0>
25. Millan-Linares, M. C., Bermudez, B., Martin, M. E., Muñoz, E., Abia, R., Millan, F., ... Montserrat-De La Paz, S. (2018). Unsaponifiable fraction isolated from grape (*vitis vinifera* l.) seed oil attenuates oxidative and inflammatory responses in human primary monocytes. *Food and Function*, 9(4), 2517–2523. <https://doi.org/10.1039/c8fo00063h>
26. Rajput, C. V., Sastry, N. V., & Chikhaliya, N. P. (2023, April 1). Vegetable oils based precursors: modifications and scope for futuristic bio-based polymeric materials. *Journal of Polymer Research*. Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s10965-023-03534-8>
27. Chew, S. C. (2020, May 1). Cold-pressed rapeseed (*Brassica napus*) oil: Chemistry and functionality. *Food Research International*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.108997>
28. Zhang, D., Li, X., Duan, X., Sun, H., & Cao, Y. (2021). Lipidomics reveals the changes in lipid profile of flaxseed oil affected by roasting. *Food Chemistry*, 364. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130431>
29. Tang, Z. X., Ying, R. F., Lv, B. F., Yang, L. H., Xu, Z., Yan, L. Q., ... Wei, Y. S. (2021). Flaxseed oil: Extraction, Health benefits and products. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 13(1), 1–19. <https://doi.org/10.15586/qas.v13i1.783>

30. Djuricic, I., & Calder, P. C. (2021, July 1). Beneficial outcomes of omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids on human health: An update for 2021. *Nutrients*. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu13072421>
31. Gawron-Skarbek, A., Guligowska, A., Prymont-Przyimińska, A., Nowak, D., & Kostka, T. (2023). The Anti-Inflammatory and Antioxidant Impact of Dietary Fatty Acids in Cardiovascular Protection in Older Adults May Be Related to Vitamin C Intake. *Antioxidants*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/antiox12020267>
32. Bhardwaj, R., Dod, H., Sandhu, M. S., Bedi, R., Dod, S., Konat, G., ... Nanda, N. (2018). Acute effects of diets rich in almonds and walnuts on endothelial function. *Indian Heart Journal*, 70(4), 497–501. <https://doi.org/10.1016/j.ihj.2018.01.030>
33. Grosshagauer, S., Steinschaden, R., & Pignitter, M. (2019, June 1). Strategies to increase the oxidative stability of cold pressed oils. *LWT*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.046>
34. Marangoni, F., Agostoni, C., Borghi, C., Catapano, A. L., Cena, H., Ghiselli, A., Poli, A. (2020, January 1). Dietary linoleic acid and human health: Focus on cardiovascular and cardiometabolic effects. *Atherosclerosis*. Elsevier Ireland Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2019.11.018>
35. Teh, H. E., Yokoyama, W. H., German, J. B., McHugh, T. H., & Pan, Z. (2019). Hypocholesterolemic Effects of Expeller-Pressed and Solvent-Extracted Fruit Seed Oils and Defatted Pomegranate Seed Meals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(22), 6150–6159. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b07186>
36. Ghaedi, E., Foshati, S., Ziaei, R., Beigrezaei, S., Kord-Varkaneh, H., Ghavami, A., & Miraghajani, M. (2020). Effects of phytosterols supplementation on blood pressure: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Nutrition*, 39(9), 2702–2710. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2019.12.020>
37. Mazzocchi, A., De Cosmi, V., Risé, P., Milani, G. P., Turolo, S., Syrén, M. L., ... Agostoni, C. (2021, April 30). Bioactive Compounds in Edible Oils and Their Role in Oxidative Stress and Inflammation. *Frontiers in Physiology*. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.659551>

38. Zhang, J., Wen, C., Duan, Y., Zhang, H., & Ma, H. (2019, July 1). Advance in *Cordyceps militaris* (Linn) Link polysaccharides: Isolation, structure, and bioactivities: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.020>
39. Morgan, L. V., Petry, F., Scatolin, M., De Oliveira, P. V., Alves, B. O., Zilli, G. A. L., ... Müller, L. G. (2021). Investigation of the anti-inflammatory effects of stigmaterol in mice: insight into its mechanism of action. *Behavioural Pharmacology*, 32(8), 640–651. <https://doi.org/10.1097/FBP.0000000000000658>
40. Jeyakumar, S. M., & Vajreswari, A. (2021). Pharmaconutrition strategy to resolve SARS-CoV-2-induced inflammatory cytokine storm in non-alcoholic fatty liver disease: Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids. *World Journal of Clinical Cases*, 9(31), 9333–9349. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v9.i31.9333>
41. Akrami, A., Makiabadi, E., Askarpour, M., Zamani, K., Hadi, A., Mokari-Yamchi, A., ... Hojhabrیمانesh, A. (2020). A Comparative Study of the Effect of Flaxseed Oil and Sunflower Oil on the Coagulation Score, Selected Oxidative and Inflammatory Parameters in Metabolic Syndrome Patients. *Clinical Nutrition Research*, 9(1), 63. <https://doi.org/10.7762/cnr.2020.9.1.63>
42. Park, H., Yu, S., & Kim, W. (2021). Rice bran oil attenuates chronic inflammation by inducing m2 macrophage switching in high-fat diet-fed obese mice. *Foods*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/foods10020359>
43. Dorni, C., Sharma, P., Saikia, G., & Longvah, T. (2018). Fatty acid profile of edible oils and fats consumed in India. *Food Chemistry*, 238, 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.072>
44. Deen, A., Visvanathan, R., Wickramarachchi, D., Marikkar, N., Nammi, S., Jayawardana, B. C., & Liyanage, R. (2021, April 1). Chemical composition and health benefits of coconut oil: an overview. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10870>

45. Berahmand, F., Anoush, G., Hosseini, M. J., & Anoush, M. (2020). Grape seed oil as a natural therapy in male rats with Alzheimer's diseases. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 10(3), 430–436. <https://doi.org/10.34172/apb.2020.052>
46. Mariana, I. (2013). Actual Methods for Obtaining Vegetable Oil From Oilseeds. *ResearchGate*, (January), 167–172.
47. Sevostianov, I., Kraevsky, S., & Sevostianov, V. (2021). Hydraulic machines for separation of wet dispersed systems. *engineering, energy, transport aic*, (3(114)), 104–112. <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2021-3-12>
48. Korendiy V., Kachur O., Havran V. (2023). Design peculiarities of an enhanced screw-type press. *CAD in machinery design. Implementation and educational issues : proceedings of the XXXI International conference CADMD 2023 (Supraśl, Poland, 26-28 October, 2023)* 28-28.
49. Korendiy V., Kachur O., Havran V. (2023). Simulation of the stress-strain state of the pressing screw. *CAD in machinery design. Implementation and educational issues : proceedings of the XXXI International conference CADMD 2023 (Supraśl, Poland, 26-28 October, 2023)* 57-57.
50. Bogaert, L., Mathieu, H., Mhemdi, H., & Vorobiev, E. (2018). Characterization of oilseeds mechanical expression in an instrumented pilot screw press. *Industrial Crops and Products*, 121, 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.04.039>
51. Chapuis, A., Blin, J., Carré, P., & Lecomte, D. (2014). Separation efficiency and energy consumption of oil expression using a screw-press: The case of *Jatropha curcas* L. seeds. *Industrial Crops and Products*, 52, 752–761. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.11.046>
52. Gao, D., Zhang, W., & Huang, Z. (2023). Design and experiment of screw press device control system of kitchen waste. *Jiangsu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition)*, 44(2), 173–179. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-7775.2023.02.007>

53. Lyons, G. A., Cathcart, A., Frost, J. P., Wills, M., Johnston, C., Ramsey, R., & Smyth, B. (2021). Review of two mechanical separation technologies for the sustainable management of agricultural phosphorus in nutrient-vulnerable zones. *Agronomy*. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050836>
54. Hudzenko, M., Vasylyv, V., Zheplinska, M., Burova, Z., & Sarana, V. (2022). Research on the effectiveness of means for intensifying oil compression in twin-screw extrusion presses. *Animal Science and Food Technology*, 13(4). [https://doi.org/10.31548/animal.13\(4\).2022.7-18](https://doi.org/10.31548/animal.13(4).2022.7-18)
55. Hudzenko, M., Vasylyv, V., Zheplinska, M., Sarana, V., & Gorenkov, D. (2023). Study of the effectiveness of the design of the oil removal channels of screw presses for squeezing out oil. *Animal Science and Food Technology*, 14(4), 58–73. <https://doi.org/10.31548/animal.4.2023.58>
56. Kachur, O., Korendiy, V., & Havran, V. (2023). Designing and simulation of an enhanced screw-type press for vegetable oil production. *Computer Design Systems. Theory and Practice*, 5(1), 128–136. <https://doi.org/10.23939/cds2023.01.128>
57. Mansor, M. N., Salleh, S. M., Fauzi, M. R., Yahya, M. N., Juahir, A., Hassan, H., & Fairol, M. (2023). Total Lifespan Analysis of Screw Press Using Static and Dynamic Simulation. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2530). American Institute of Physics Inc. <https://doi.org/10.1063/5.0121098>
58. Alabi, K., Busari, R., & Joel, O. (2022). Development and Performance Evaluation of a Variable-Pitch Tapered-Shaft Screw Press for Palm Oil Extraction. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 9(2), 49–61. <https://doi.org/10.54287/gujasa.1069996>
59. Krapf, G. (2021). Technological challenges in oilseed crushing and refining. *OCL - Oilseeds and Fats, Crops and Lipids*. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/ocl/2021007>
60. Kabutey, A., Herak, D., Ambarita, H., & Sigalingging, R. (2019). Modeling of Linear and Non-linear Compression Processes of Sunflower Bulk Oilseeds. *Energies*, 14(15). <https://doi.org/10.3390/en12152999>

61. Havran, V., & Orynychak, M. (2022). Investigation and implementation of Jenkins pipelines into Raspberry Pi for automated control units. Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ», (May 20, 2022; Cambridge, United Kingdom), 182–184. <https://doi.org/10.36074/logos-20.05.2022.054>
62. Lobur M., Tomyuk V., Havran V. (2022). Analysis of automated block units for smart oil pressure system. САПР у проектуванні машин. Питання впровадження та навчання: матеріали XXX Міжнародної польсько-української науково-технічної конференції (Львів, Україна, 1–2 грудня 2022 р.). 9-9.
63. Lobur M., Melnyk M., Tomyuk V., Havran V. (2022). Automation of the process of the oil pressing press using the LabVIEW system. САПР у проектуванні машин. Питання впровадження та навчання: матеріали XXX Міжнародної польсько-української науково-технічної конференції (Львів, Україна, 1–2 грудня 2022 р.). 12-12.
64. Fu, S., Dou, B., Zhang, X., & Li, K. (2023). An Interactive Analysis of Influencing Factors on the Separation Performance of the Screw Press. Separations, 10(4). <https://doi.org/10.3390/separations10040245>
65. Korendiy, V., & Havran, V. (2024). Defining the influence of the screw press loading conditions on the consumed current of its drive with the use of Arduino microcontroller. Scientific Bulletin of UNFU, 34(2), 94-100. <https://doi.org/10.36930/40340212>
66. Melnyk, M., Pytel, K., Orynychak, M., Tomyuk, V., Havran, V. (2022). Analysis of Artificial Intelligence Methods for Rail Transport Traffic Noise Detection. Computer Design Systems. Theory and Practice 4 (1), 107-116. <https://doi:10.23939/cds2022.01.107>
67. Shevchuk, R., & Sukach, O. (2020). Test of the modernized screw oil press. Bulletin of Lviv National Agrarian University. Agroengineering Research, 24(1), 69–76. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2020.24.069>

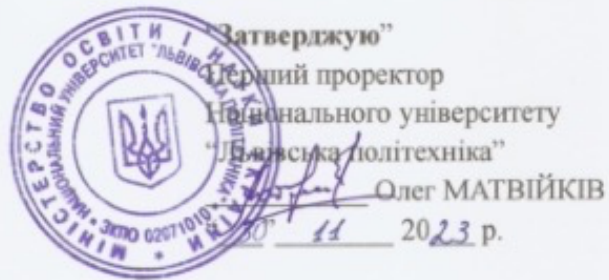
68. Alonge, A. F., & Jackson, N. I. (2019). Extraction of Vegetable Oils from Agricultural Materials : A Review. CIGR Section VI International Symposium, (June), 1184–1206.
69. Household All Stainless Steel Oil Press Ltp200 Electric Small Household Commercial Cold And Hot Pressing Fully Automatic - Specialty Tools - AliExpress [Internet]. aliexpress.us. [cited 2024 Jan 2]. Отримано з <https://www.aliexpress.com/item/1005004330106945.html#navspecification>
70. Havran V. (2023). Analysis of Arduino mega controller usage for the oil screw press, Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 329(6), 33-37. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2023-329-6-33-37>
71. Arduino. Arduino Mega 2560 Rev3 (A000067). Отримано з <https://arduino.ua/prod176-arduino-mega-2560-rev3-a000067>
72. RCS Components. Embedded power supply 36W 12V (Product No. 67309). Отримано з https://www.rescomponents.kiev.ua/product/blok-zhyvlennia-shcho-vbudovuietsia-36w-12v-ov-r12-3a_67309.html
73. Haoyu Electronics. XL6009 DC-DC Converter Datasheet. Отримано з <https://www.haoyuelectronics.com/Attachment/XL6009/XL6009-DC-DC-Converter-Datasheet.pdf>
74. DatasheetHub. MX1508 Mini Dual Channel 1.5A DC Motor Driver Module. Отримано з <https://www.datasheethub.com/mx1508-mini-dual-channel-1-5a-dc-motor-driver-module/>
75. Arduino.ua. LCD 2004 I2C Символьний Дисплей 20x4 Синій [LCD 2004 I2C Character Display 20x4 Blue]. Отримано з <https://arduino.ua/prod663-lcd-2004-i2c-simvolnii-displei-20x4-sinii>
76. Dallas Semiconductor. DS18B20 datasheet. Отримано з pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58557/DALLAS/DS18B20.html
77. Plusivo Philippines. Hall Sensor Module YS-27. Отримано з <https://www.plusivo.ph/hall-sensors/29-hall-sensor-module-ys-27.html>
78. Determining the weight of oil extracted with a screw press using a strain gauge sensor, hx711 module, and arduino. (2024). Herald of Khmelnytskyi National

- University. Technical Sciences, 331(1), 73-76. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-12>
79. Radiomag. Strain gauge 1kg + HX711 module. Отримано з https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/tenzometrychnyi-datchyk-1kh-hx711-modul_192606.html
80. Seeed Technology Co., Ltd. SCT-013-030 Datasheet. Отримано з <https://statics3.seeedstudio.com/assets/file/bazaar/product/101990028-SCT-013-030-Datasheet.pdf>
81. IT Master. ZMPT101B. Отримано з <https://itmaster.biz.ua/directory/sensors/zmpt101b.html>
82. Arduino.ua. Arduino Nano V3.0 AVR ATmega328P S raspayannymi raz'emami [Arduino Nano V3.0 with AVR ATmega328P and headers]. Отримано з <https://arduino.ua/prod166-arduino-nano-v3-0-avr-atmega328p-s-raspayannimi-razemami>
83. AC Privod. (2018). User Manual for Model 210. Отримано з <https://www.acprivod.ua/wp-content/uploads/2018/02/210manual405.pdf>
84. Arduino.ua. 4-х канальний модуль реле 5V/10A [4-Channel Relay Module 5V/10A]. Отримано з <https://arduino.ua/prod206-4-h-kanalnii-modyl-rele-5v-10a>
85. RCS Components. Активний зумер [Active Buzzer]. Отримано з https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/shyld-aktyvnyi-zumer_165685.html
86. Korendiy, V., & Havran, V. (2024). Analysis of the oil extraction process and prospects of automation of screw press operation. Scientific Bulletin of UNFU, 34(1), 85-90. <https://doi.org/10.36930/40340112>
87. Tomyuk V. Justification of the design and technological parameters of the press for pressing oil from rope seeds : Tomyuk Vasyl – Lviv, 2011.
88. Lara-Ojeda, L., Bohórquez, O., & González-Estrada, O. A. (2021). Numerical modeling of a domestic press for vegetable oil extraction using finite element

- analysis. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 2046). IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2046/1/012005>
- 89.SolidWorks. Отримано з <https://www.solidworks.com>
- 90.Пустюльга С.І. Інженерна графіка в SolidWorks : навч. посіб. для студ. ВНЗ техн. спец. / С.І. Пустюльга, В.Р. Самостян ; МОН України, Луцький НТУ. - Луцьк : Вежа-Друк, 2018. - 174.
- 91.Tinkercad - From mind to design in minutes: [Електронний ресурс] // Tinkercad., 2023. Отримано з <https://www.tinkercad.com>
- 92.Abburi, R., Praveena, M., & Priyakanth, R. (2021). TinkerCad - a web based application for virtual labs to help learners think, create and make. Journal of Engineering Education Transformations, 34(Special Issue), 535–541. <https://doi.org/10.16920/jeet/2021/v34i0/157209>
- 93.Janiesch, C., Zschech, P., & Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning. Electronic Markets, 31(3), 685–695. <https://doi.org/10.1007/s12525-021-00475-2>
- 94.Tanwar, S. (2024). Machine Learning. In Computational Science and Its Applications (pp. 13–42). Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/9781003347484-2>
- 95.Hack Hong, S. (2021). Edge Impulse Machine Learning for Embedded System Design. Embedded MEMS, 9(1), 9–15. Отримано з <http://dx.doi.org/10.17662/ksdim.2021.17.3.009>
- 96.Arduino Machine Learning Tools | Edge Impulse Documentation. Отримано з <https://edge-impulse.gitbook.io/docs/integrations/arduino-mltools>
- 97.Edge Impulse [Internet]. Отримано з <https://mltools.arduino.cc/>
- 98.Machine learning tools. Отримано з <https://cloud.arduino.cc/machine-learning-tools/>
- 99.Arduino в Україні. (2022, October 6). Wi-Fi модуль ESP8266 версія ESP-01. Отримано з <https://arduino.ua/prod980-wifi-modul-esp8266>

100. ESP8266 WiFi Module Interfacing with Arduino UNO | Arduino.
Отримано з <https://www.electronicwings.com/arduino/esp8266-wifi-module-interfacing-with-arduino-uno>
101. Wadhvani, S., Singh, U., Singh, P., & Dwivedi, S. (2018). Smart Home Automation and Security System using Arduino and IOT. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(2), 1357–1359. Retrieved from www.irjet.net
102. Thornton, M. A. (2021). Arduino III: Internet of Things. *Synthesis Lectures on Digital Circuits and Systems*, 16(1), 1–237. <https://doi.org/10.2200/S01077ED1V03Y202102DCS060>
103. Havran, V. & Lobur M. (2024). Determination of hopper fullness of smart screw press using machine learning. *Computer Design Systems. Theory and Practice*, 6(1), 161-168. <https://doi.org/10.23939/cds2024.01.161>
104. Havran V., & Orynychak M. (2024). Utilization of computer vision and machine learning for applied engineering: data analysis and recognition, *Technol. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 17–24. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.1.2>

ДОДАТОК А. АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ



АКТ

про впровадження в навчальний процес результатів
 дисертаційної роботи
Гавран Володимир Богданович

Цей акт складено про те, що результати дисертаційної роботи Гаврана Володимира Богдановича впроваджено у навчальний процес кафедри “Систем автоматизованого проєктування” Національного університету “Львівська політехніка”.

Впровадження результатів дисертаційної роботи полягає в їхньому використанні при викладанні навчальних дисциплін як окремих розділів лекційних курсів, так і в циклах лабораторних робіт.

Зокрема для викладання дисципліни “Автоматизація проєктування мікроелектронних систем” для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня “бакалавр”, що навчаються за напрямом 122 “Комп’ютерні науки” використано такі результати:

- Застосування методів автоматизації систем керування;
- Методи аналізу та моделювання мікроелектронних систем.

У лекційному курсі “Сучасні методи проєктування інтелектуальних систем” для студентів кваліфікаційного рівня “аспірант”, що навчаються за напрямом 122 “Комп’ютерні науки” використано такі результати:

- Методи проєктування smart систем;
- Дослідження методів машинного навчання.

Директор ІКНІ,
 д.т.н., професор

Микола МЕДИКОВСЬКИЙ

Завідувач кафедри САП,
 д.т.н., професор

Михайло ЛОБУР

ДОДАТОК Б. ТРИВИМІРНА МОДЕЛЬ МОДЕРНІЗОВАНОГО ШНЕКОВОГО ПРЕСУ

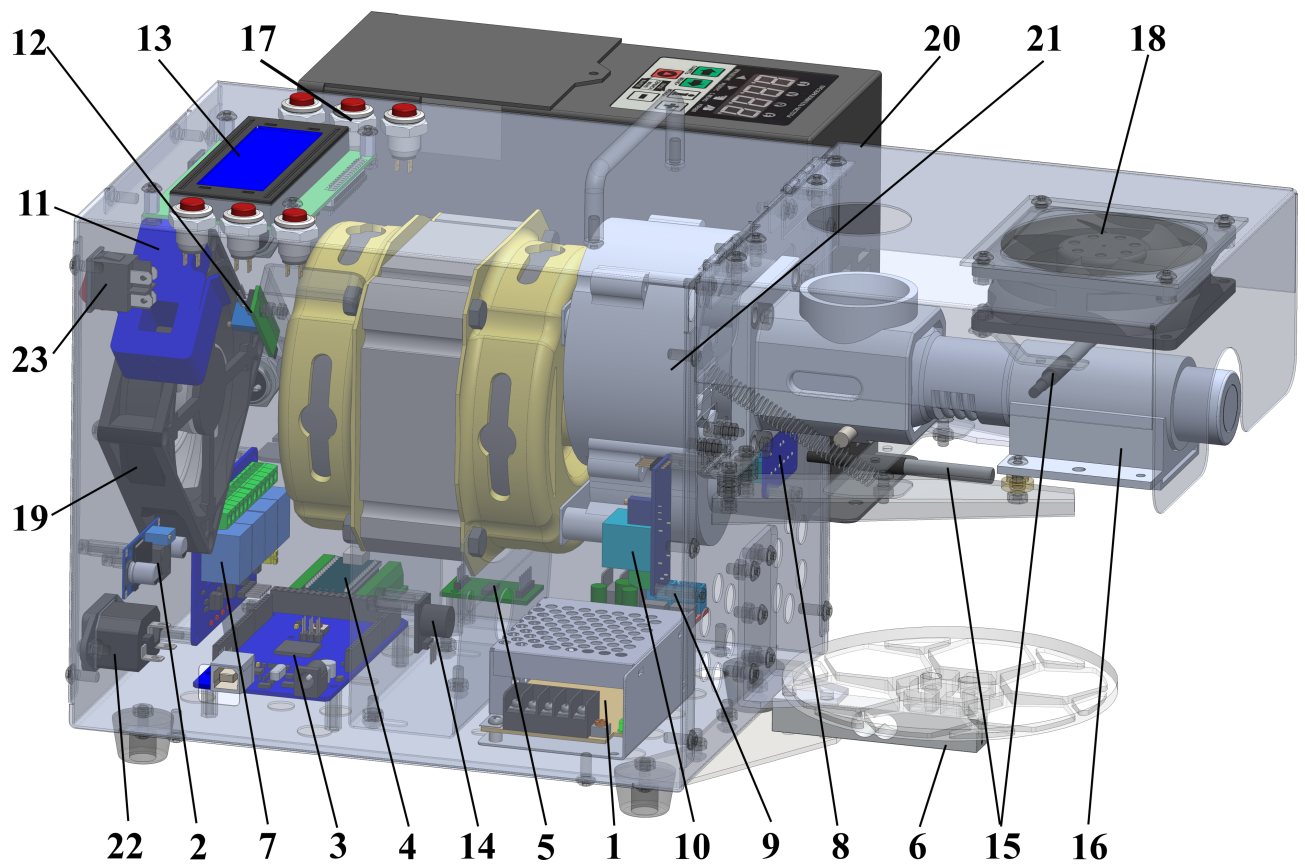


Рис. Б.1 Тривимірна модель модернізованого шнекового пресу:

1. Блок живлення; 2. драйвер МХ150; 3. Arduino Mega; 4. Arduino Nano;
 5. модуль HX711; 6. датчик ваги; 7. - 8. модуль реле; 9. перетворювач напруги;
 10. вольтметр; 11. амперметр; 12. датчик Холла; 13. екран; 14. зумер;
 15. датчик температури; 16. пресувальна камера; 17. кнопки керування;
 18. - 19. вентилятор; 20. частотний перетворювач; 21. корпус; 22. роз'єм
 живлення.