

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

Марціяш Марко Юрійович

**Розроблення автоматизованої системи для лиття
пластику під тиском/ Development of an automated system
for plastic injection molding.**

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКІТ - 41
Марціяш М.Ю.

Науковий керівник
Шевчук А.М.

Кваліфікаційну роботу допущено
до захисту:

«____» _____ 2025 р.

Завідувач кафедри

_____ А.І.Сегін

ТЕРНОПІЛЬ – 2025

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"

Спеціальність: 151 - автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології;
Освітньо-професійна програма - автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувача кафедри СКС:
_____ А.І. Сегін.
"___" _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Марціяшу Марку Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи:

Розроблення автоматизованої системи для лиття пластику під тиском /
Development of an automated system for plastic injection molding
Керівник роботи к.е.н. Шевчук А.М.

Затверджені наказом університету від 28 листопада 2024 р. №938

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи:
15.05.2025р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Інформація про ОУ та про методи виробництва пластикових виробів.
2. Інформація про принцип роботи термопластавтомата.
3. Інформація про обладнання, що може бути використано для розробки термопластавтомата.

4. Основні питання які потрібно розробити:

1. Аналіз ОУ та існуючих рішень та методів виробництва.
2. Аналіз роботи і структури системи термопластавтомат.
3. Розгляд основних вузлів системи та написання програми для симуляції роботи термопластавтомата.

5. Перелік графічного матеріалу в роботі:

1. Представлення схем та вигляду процесів виробництва.
2. Представлення реального обладнання.
3. Схематичні представлення механічної та інформаційної взаємодії вузлів системи.

4. Скріншоти коду та візуалізація програми для симуляції роботи системи.

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи:

Розділ	Посада консультанта, прізвище та ініціали.	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Шевчук А.М.		
2	Шевчук А.М.		
3	Шевчук А.М.		

7. Дата видачі завдання: 1 грудня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ Завдання.	Назва завдання.	Строк виконання	Примітка
1	Аналіз існуючих рішень.	12.2024р. - 01.2025р.	
2	Проектування системи термопластавтомат.	02.2025р. - 03.2025р.	
3	Написання програми для відображення роботи системи.	04.2025р. - 05.2025р.	

Студент

(підпис)

М.Ю. Марціяш.

Керівник

(підпис)

А.М. Шевчук.

АНОТАЦІЯ

Марціяш М.Ю. Розроблення автоматизованої системи для лиття пластику під тиском. - Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна (наукова) програма. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2025.

В даній роботі було розглянуто полімерні матеріали та методи й особливості виготовлення пластикової продукції. Також було описано основні етапи роботи та вузли системи термопластавтомат. Наведено приклади реального обладнання, в тому числі програмованого логічного контролера.

Розроблено схематичні зображення механічної та інформаційної взаємодій між вузлами системи. В середовищі Codesys на мові ST написано демонстраційну програму для симулювання роботи термопластавтомата. Та проведено візуалізацію.

ABSTRACT

Martsiash M.Y. Development of an automated system for plastic injection molding. - Manuscript.

Research for the degree of Bachelor in specialty 151 "Automation and computer-integrated technologies", educational and professional (scientific) program. - Western Ukrainian National University, Ternopil, 2025.

This work considered polymer materials and methods and features of manufacturing plastic products. The main stages of operation and components of the automatic plastic molding machine system were also described. Examples of real equipment, including a programmable logic controller, were given.

Schematic images of mechanical and information interactions between system components were developed. A demonstration program for simulating the operation of an automatic plastic molding machine was written in the Codesys environment in the ST language. And visualization was carried out.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ	8
1.1. Пластмаса.	8
1.2. Методи формування пластику.	12
1.3. Види прес-форм.	18
2. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕРМОПЛАСТАВТОМАТ	22
2.1. Постановка завдання.	22
2.2. Основні технічні вузли.	22
3. НАПИСАННЯ ПРОГРАМИ ДЛЯ ВІДОБРАЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ	40
3.1. Основні етапи роботи термопластавтомату.	40
3.2. Написання програми.	43
3.3. Електродвигун.	44
3.4. Робочий циліндр.	46
3.5. Гідроциліндри.	47
3.6. Система охолодження та прес-форма.	52
3.7. Симуляція роботи програми.	54
ВИСНОВКИ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	59
ДОДАТКИ	69

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дата	Літ. Арк. Акрушів 6 70 ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		
Розробив	Марціяш М.Ю.						
Перевірів	Шевчук А.М.						
Консульт.	Шевчук А.М.						
Н. Контр.	Заставний О.М.						
Затвердив	Сегін А.І.						

ВСТУП

Актуальність теми: полімери використовуються в багатьох сферах людської діяльності за рахунок широкого спектру їх корисних характеристик. А щоб забезпечити швидке та якісне виготовлення полімерної продукції доцільно автоматизувати процес виробництва, для чого і призначене таке устаткування, як термопластавтомат, 3D принтери, тощо. Хоча й існує страшенна екологічна проблема пов'язана з використанням пластику, навряд чи вдасться повністю від нього відмовитись. Прогрес в полімерній промисловості може дозволити синтезувати нові сполуки, по новому виробляти та ктилізувати пластик, а отже розвиток в даній галузі є доволі перспективним і актуальним.

Мета роботи: проаналізувати існуючі методи та провести проєктування системи для автоматизованого лиття пластику під тиском.

Завдання: провести аналіз об'єкта управління, існуючих методів виробництва, основних вузлів існуючих систем, провести підбір основних компонентів, продумати логіку роботи та написати симуляційну програму.

Об'єкт дослідження: автоматизоване лиття пластику під тиском.

Предмет дослідження: автоматизована система для лиття пластику під тиском.

Методи дослідження: аналіз й декомпозиція систем та процесів, схематичне та симуляційне моделювання, порівняння елементів та методів.

Практичне значення одержаних результатів: набуття навичок в сфері автоматизації та перспектива технічної реалізації системи на базі даної роботи.

Напрямки подальшого розвитку: в перспективі є можливість проведення більш детального дослідження і технічно реалізації або ж удосконалення системи.

Апробація результатів дослідження: Марціяш М. Проєктування системи термопластавтомат // АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ (АКІТ-2025): Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції. Тернопіль, 2025. с. 96.

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Виготовляти пластикову продукцію можна багатьма способами і це залежить від того, скільки та що ви хочете отримати в результаті та якими властивостями воно повинно володіти. Але спершу слід розглянути сам матеріал.

1.1. Пластмаса.

Пластик це синтетичний матеріал за основу якого взяті полімери, які, в свою чергу, отримують з природних копалин, таких як: газ, нафта, сланці та вугілля [1, 2]. Даний матеріал, при високій температурі є пластичним, ба навіть текучим і в таких умовах відбувається його формування, тобто задання потрібної форми заготовці, а при охолодженні він приймає склоподібну або ж кристалічну (в такому випадку забезпечується більша жорсткість) форму і готовий виріб можна експлуатувати. Але не всі види пластмас можна знову розігріти й переплавити, тобто піддати переробці.

Перевагою даного матеріалу є невелика маса, здатність до тепло- та електроізоляцій, стійкості до окислення, а також те, що за допомогою добавок можна отримувати й змінювати ті чи інші характеристики. Проте є і недоліки: невелика твердість та міцність, слабка теплопровідність (яка є і позитивною властивістю залежно від сфери застосування), низька стійкість до мінусових та високих температур, також пластик здатен “старіти” під впливом зовнішніх чинників та втрачати корисні властивості.

Характеристики можна змінювати шляхом додавання допоміжних речовин. Конкретно для зміцнення пластику додають значну частку наповнювачів, котрих в кінцевому матеріалі може бути більше ніж самого полімеру. Вони бувають різні: графітовий порошок, кварцове борошно, скляні й паперові волокна, тканина, папір. [3] Хорошим прикладом є всім відомий вуглепластик (карбон), котрий отримав свою надзвичайну легкість та міцність,

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

якраз завдяки армуванню вуглецевими нитками, і скріпленні всієї конструкції полімером. Також є пластифікатори, що додають еластичності: гліцерин, різні масла (парафінове, касторове), пороутворювачі (розпадаються на газ спінюючи основний матеріал), антипірени (збільшують стійкість до вогню), антистатики (зменшують здатність до акумулювання статичного заряду), каталізатори (пришвидшують затвердіння матеріалу), барвники (для зміни забарвлення), стабілізатори (уповільнюють старіння) та мастильні матеріали (дозволяють полімеру не прилипати до форми, збільшують в'язкість, текучість та зменшують тертя).

Я подам класифікацію за властивостями смоли (термопласти, реактопласти та еластомери), проте пластик також розподіляють і за іншими ознаками: за природою наповнювача (асбо-, боро-, органо-, скло- й вуглепластики, металополімери і графітопласти), а також в залежності від структури молекул (пласто-, дуρο-, еластомери та синтетичне волокно).

1.1.1. Термопласти.

З матеріалами, що належать до цього типу, комфортно працювати, проте недоліком є їх невисока робоча температура (не більше 90°C). Також вони при нагріванні плавляться, що дозволяє виливати, або легко формувати з них, різного роду вироби, а при охолодженні вони затвердівають. При бажанні такий цикл можна повторювати багато разів, тобто термопласти піддаються переробці. До цього класу матеріалів належать:

Поліетилен (позначається ПЕ, або РЕ) - витримує низькі температури (до -60°C), не проводить струм, відштовхує воду, є досить твердим та легким. З недоліків: низькі маслостійкість і гранична температура використання, а також висока газопроникність. Є декілька різновидів: поліетилен низького, середнього та високого тисків. Використовують для виготовлення плівок, труб, ящиків.

Поліпропілен (ПП або РР) - є інертним до хімічних сполук, не проводить струм. Але є і недоліки: він здатен накопичувати статичний заряд, погано склеюється, горить та не стійкий до низьких температур. Деякі види

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

поліпропілену можна використовувати для контакту з їжею. З нього виготовляють пакувальні плівки для їжі, а також використовують в медицині та електротехніці.

Полістирен (ПС або PS) - легко різати і склеювати, він не токсичний, стійкий до води і радіації, не проводить струм. Проте він крихкий, горить, накопичує статичний заряд, не стійкий до тепла й хімічних сполук. До речі, всім відомий пінопласт - спінений полістирен. Його використовують, як елемент для освітлювальної техніки та декору.

Поліметилметакрилат (ПММА або PMMA) - відомий як орг. скло. Він твердий, прозорий, хімічно та біологічно стійкий, витримує низькі температури, не шкідливий, не проводить струм (але при високих частотах ця характеристика погіршується). Має і недоліки: горить, на кисні може розтріскуватись, а також погано переносить удари. Виготовляють скло та освітлювальні прилади.

Поліетилентерефталат (ПЕТФ або PET) - твердий, прозорий (в аморфному стані) або білий (в кристалічному), зносостійкий, не проводить струм. Але він зовсім не стійкий до соляної кислоти та каустичної соди. Ним армують автомобільні шини, шланги високого тиску та виготовляють ПЕТ-пляшки для напоїв.

Полівінілхлорид (ПВХ або PVC) - при високій температурі розкладається, а при горінні самостійно згасає, але при тому виділяються шкідливі діоксини. В чистому вигляді не використовується, натомість застосовують вінілпласти (міцні та нержавіючі матеріали - використовують в машинобудуванні), пластикати (м'які, негорючі матеріали - використовують для електроізоляції) та пластизолі (виготовляють штучні шкіри, іграшки). Всі вони за основу беруть ПВХ-пластик.

1.1.2. Реактопласти.

Матеріали, що належать до цього класу, так само, як і термопластичні пластмаси при нагріванні стають в'язкими, але їх затвердіння (зббільшого ініціатором цього є хімічна реакція) - процес уже незворотній. Їх не можливо

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

повторно переплавити і переробити так, як це можна зробити з термопластами. Проте даний недолік перекриває їх висока теплостійкість (до 370°C). У чистому вигляді даний тип пластику майже не використовується, проте можна отримати широкий спектр матеріалів з потрібними властивостями додаючи різні наповнювачі, хімічні сполуки та інші “інгредієнти”, які з’єднуються “сполучником” або “смолою” - так називають полімерну основу реактопластів, в залежності від якої розрізняють: фенопласти, амінопласти, епоксидні, поліуретанові, алкидні та деякі інші

1.1.3. Еластомери.

Характерні дуже високою еластичністю та пружністю. Часто їх використовують, як “інгредієнт” для того, щоб зменшити надмірну твердість та крихкість інших полімерів. Недоліками є старіння під дією тепла, термоокислювальна деструкція, а також те, що не можливо виготовляти еластомери у формфакторі гранул. До еластомерів належать: ізопреновий каучук (використовується для виготовлення автомобільних шин), бутадієновий каучук (використовують як складову для покращення морозостійкості та міцності (у випадку з полістиролом) пластмас), бутилкаучук (застосовують як пластифікатор для деяких термопластів; а також для виготовлення виробів, що не проводять струм, не пропускають газ і стійкі до температури та погодніх умов), кремнійорганічний каучук (не виділяє токсини коли горить, хімічно стійкий діелектрик та витримує великі перепади температур), термоеластоласт (м’який гумовий матеріал, який можна плавити та переплавляти, так як термопласти).

1.1.4. Маркування пластмас.

У 1988 році Співтовариство Пластикової індустрії, щоб забезпечити належні умови для утилізації цього матеріалу, розробили спеціальне маркування, що стало міжнародним символом переробки. Воно виглядає як три стрілки у формі трикутника (зображено на рисунку 1.1.) у середині якого

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

розміщується цифра, що вказує на тип пластику. Детальніша інформація про відповідність нумерації з класом матеріалу зображено в таблиці 1.1.



Рисунок 1.1. [4] Маркування для ПЕТ-пластику.

Таблиця 1.1. Відповідність типу пластику і нумерації для переробки.

Номер маркування	Абревіатура	Назва матеріалу	Чи дозволений контакт з їжею?
1	PET або PETE	Поліетилентерефталат	Ні
2	PEHD або HDPE	Поліетилен високої щільності	Так
3	PBX або PVC	Полівінілхлорид	Ні
4	LDPE або PELD	Поліетилен низької щільності	Так
5	PP	Поліпропілен	Так
6	PS	Полістирол	Ні
7	Other або O	Інші типи пластмас	Ні

1.2. Методи формування пластику.

[5] Як я вже зазначав раніше, є безліч речей зроблених з полімерних матеріалів і всі вони дуже різні за своїм призначенням. Виготовлення одноразових кульків, порожнистих іграшок, синтетичної тканини, автомобільних шин, корпусів побутової електроніки це надзвичайно відмінні

процеси, під час протікання яких використовується обладнання, спеціально спроектоване та адаптоване до того чи іншого виду виробництва. Отже потрібно враховувати тип та унікальні особливості, матеріалу, його початкову та бажану форми, властивості кінцевого продукту, тощо. Загально розглянемо способи виробництва пластиковий виробів:

1.2.1. [6] Спінінг (або прядіння).

Розглянемо цей метод на прикладі термопластів. Використовуючи спосіб екструзійного прядіння, спершу, полімерна маса нагрівається, перемішується та доводиться до однорідного стану, потім розплав пропускають через [7] фільтру - спеціальний пристрій з вузьким отвором, призначений для формування тонких волокон. Коли рідкий матеріал проходить через нього і потрапляє на відкрите повітря (в рідину), то затвердіває і на виході ми отримуємо довгий, ниткоподібний пластиковий виріб, з якого, до речі, можна пошити синтетичну тканину. Існують й інші методи, як от у випадку використання матеріалів не стійких до високої температури. Ми не зможемо їх просто розплавити щоб пропустити через фільтру, бо перш ніж вони стануть текучими, то втратять свої властивості і зіпсуються. Тому пластик, спершу, розчиняють у розчиннику, а далі є кілька способів:

- Мокре прядіння. Полімерний розчин потрапляє через фільтру в коагуляційну ванну ([8] це процес, злипання частинок при певних умовах: направлене переміщення в зовнішньому силовому полі, тепловий рух, або ж перемішування), де полімер осідає у формі волокон.

- Електроформування. [9] На дозу розчину подають високу напругу, у зв'язку з чим його крапля починає видовжуватись, перетворюється на струмінь, який, в свою чергу, висихає та продовжує збільшувати довжину і це завдяки вигинам волокна. Згодом він осідає на заземлену платформу (колектор).

- Гелеве прядіння. [10] Деякі полімери формують зв'язки між своїми ланцюгами. В один момент це призводить до утворення однієї величезної молекули - це і є гелеутворення. Цей процес характеризується також тим, що

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		13

речовина раптово стає дуже в'язкою і перестає розчинятись в розчиннику - натомість набухає в ньому. За подібним методом виготовляють поліетилен надвисокої молекулярної маси (UHMWPE). [11] Гель містить низьку концентрацію самого полімеру (UHMWPE) і олію. Спершу, його пропускають через фільтр, далі гель потріплює на повітря, а потім у розчинник, ([12] він розчиняє лише олію), який згодом видаляють на стадії сушіння. В результаті, майже всі полімерні ланцюги вирівняні в одному напрямку, що, враховуючи їх величезну довжину, забезпечує виняткову міцність матеріалу.

- Сухе віджимання. Полімерний розчин, тонким струменем через фільтр потріплює в камеру з гарячими потоками повітря, що швидко випаровують розчинник. Відтак залишається лише полімерна основа, яка затвердіває в потрібних нам стані та формі.

На кінцевих етапах виробництва готові волокна [13] додатково витягують для того, щоб ще більше вирівняти в одному напрямку полімерні ланцюги, та збільшити кристалічність. Це суттєво підвищує міцність кінцевого продукту.

1.2.2. Видувне формування.

[14] Розглянемо на прикладі методу лиття під тиском з роздуванням заготовки: пластик подається під тиском в форму (яка формує зовнішню поверхню виробу), всередині якої міститься стрижень (він формує внутрішню поверхню виробу). Це перший етап, на якому ще не створюється кінцевий продукт, а лише заготовка - виглядає як порожниста трубка, запечатана на одному з кінців (схожа на пробірку). В контексті виготовлення пляшок для води, різьба для закручування корків формується на першому етапі. Далі форма відкривається, але виріб продовжує залишатися на стрижні. Під час другого етапу заготовка затискається в іншій (видувній) формі, де, власне, і надувається. Для цього повітря під тиском подається через стрижень, кінець якого відкривається. Після охолодження готовий виріб викидається. Існують й інші підвиди видувного формування: одно- та двоступеневе лиття під тиском з розтягуванням і екструзійно-видувне формування.

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

1.2.3. Ротаційне формування.

[15] Даний метод підходить для виготовлення порожнистих виробів. Якщо розглядати термопласти: для початку, форму, у яку поміщають гранули полімерного матеріалу, починають нагрівати та повільно обертати (за двома перпендикулярними осями одночасно). Під час цього матеріал плавиться і рівномірно розподіляється по всій поверхні. Згодом форму охолоджують і обов'язково продовжують обертання на низькій швидкості, щоб виріб не деформувався та щоб збереглась однакова товщина стінок. Існує також ротаційне лиття. Ймовірно для обертання використовується лише одна вісь, але цього не було зазначено в статті з якої бралась інформація тому достовірно невідомо. В даному методі використовують матеріали, що самі твердіють з часом, або під впливом певного випромінювання (зазвичай ультрафіолетового). Швидкість обертання там низька, так як і при використанні звичайного ротаційного формування. Є також і відцентрове лиття. [16] Вісь обертання лише одна (її орієнтація або паралельна, або перпендикулярна до напрямку сили тяжіння). Його не слід плутати з ротаційним формуванням, так як обертання форми здійснюється уже на великій швидкості. Метод добре підходить для різних матеріалів (скло, бетон, метал), з яких виробляють труби, кільця та інші вироби симетричні відносно осі обертання.

1.2.4. 3D-друк.

[17] 3D-принтер (його зображено на рисунку 1.1.) - це обладнання, що базується на числовому програмному керуванні, що дозволяє друкуючій головці переміщуватись в будь-яку точку її робочого просточу за трьома просторовими координатами.

Спершу для виготовлення кінцевого продукту потрібно розробити цифрову спеціалізовану тривимірну модель. Система має барабан з намотаним ниткоподібним полімерним матеріалом звідки він подається в камеру нагрівання і через сопло потрапляє на робочу поверхню.

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15



Рисунок 1.2. [18] 3D-принтер та виготовлений ним виріб.

На основі цифрової моделі обчислюється траєкторія руху робочої головки і в процесі її переміщення з паралельним подаванням пластику устаткування малює готовий виріб шар за шаром накладаючи їх одне на одного, цим самим створюючи об'ємну фігуру. Через такий принцип друку кінцевий продукт має характерні рельєф та текстуру, що виглядає так, ніби він складається з багатьох плоских шарів, хоча так воно і є.

Дана система має деякі, доволі вражаючі сфери застосувань: органічний друк (друк їжі або протезів), друк металом (корпорація Lockheed Martin “надрукувала” титановий купол для ракети), [19] друк будівель (компанія WinSun у 2014 році “надрукувала” декілька будинків бетоном і це не поодинокий випадок)... Застосування тих чи інших конфігурацій 3D принтерів дає великі переваги, набагато зменшуючи час роботи, але це стосується великомасштабних та надскладних проєктів. Якщо ж подивитись на даний метод виготовлення полімерної продукції, то для серійного виробництва з величезними тиражами він не підходить, так як, в такому контексті, час виготовлення одного виробу є надто великим.

3D-принтери підтримують різні формати файлів, наприклад: OBJ - його підтримують більшість програм та систем, STL - має недолік, так як не дозволяє друкувати кольорові моделі, VRML та інші.

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		16

1.2.5. Видування плівки.

[20] Матеріал екструдують в форму і отримують заготовку трубчастої форми. Після цього її надувають до стану бульбашки (процес потрібно ретельно контролювати, щоб вона не луснула, так як її стінки повинні бути достатньо тонкими). Після того, як бульбашка охолodиться, комплекс напрямних складає її і намотує на барабан. На виході отримуємо рулон двошарової плівки.

1.2.6. Лиття.

[21, 22] Його загальний опис доволі простий: беремо метеріал (гіпс, бетон, матал, або ж пластик) в рідкому стані, заливаємо його в потрібну форму (з металу, силікону, піску, тощо) і коли він затвердіє - отримуємо готовий виріб. Проте на практиці є багато нюансів, які потрібно врахувати.

Якщо розглядати рактопласти, [23] вихідний матеріал яких, здебільшого, спочатку є рідким, або ж, хоча б, пластичним - їх вливають в формувальну порожнину (різновиди та конструкції яких буде розглянуто дещо пізніше) і далі провокують процес зшивання, [24] що підрозуміває хімічну реакцію (яка може провокуватись певною температурою, реагентом або випромінюванням) для утворення зв'язків між полімерними ланцюгами (простими словами: затвердіння). Пригадую, ми з братом особисто відтворювали такий процес в домашніх умовах. Ми взяли, так звану, епоксидку смолу (що є сполучником, або полімерною основою одного з видів реактопластів), додали реагент, добре розмішали і залили у раніше сконструйовану форму (пластикова огорожа герметизована термо-клеєм). В результаті виріб вийшов з дефектами, так як по всьому його об'ємі були бульбашки. Це спровокувала занадто швидка реакція і збільшення температури - матеріал просто закипів... Дуже важливо враховувати всі нюанси і аспекти: тип полімерної основи, тип реагенту, їх пропорції та рівномірне розподілення, швидкість та інші умови реакції.

Виготовляти продукцію з термопластів можна таким же способом, але для кращої якості існує дещо кращий метод. [25] Звичайне лиття, як

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

реактопластів, еластомерів та термопластичних полімерів доступне для аматорів в домашніх умовах, а от лиття під тиском в прес-форми це вже більш складний процес.

1.2.7. Лиття під тиском.

Розглянемо даний метод на прикладі термопластів. [26] Спершу, сировину (виробляється в гранульованому вигляді) потрібно розплавити. Це досягається за рахунок нагрівання та активного поремішування (деколи цей процес відбувається під тиском, що підсилює ефект), далі розплав вливають в прес-форму (важливо досягти не просто герметичності, але врахувати, що пластик вводиться під великим тиском), після чого виріб охолоджується, що супроводжується зменшенням його об'єму, тому одночасно з цим впрскується додаткова порція пластику. Наостанок форму відкривають, і дістають готовий продукт. Для даного методу існує спеціалізоване обладнання, що охоплює майже всі етапи - термопластавтомат (детальніше про дану систему в розділі 2).

Існують деякі інші види, підвиди та технології формування пластику, проте наостанок для даного розділу розглянемо види прес-форм і зробимо це в контексті методу лиття пластику під тиском.

1.3. Види прес-форм.

Прес-форма [27, 28] - це пристрій, що використовується для формування виробів з різних матеріалів застосовуючи для цього тиск. Вони складаються з двох основних частин: матриця (нерухома) та пуансон (рухома). Їх поверхні мають певні виступи, заглибини, канали й інші нерівності, що при змиканні частин форми, утворюють порожнину, яку заповнює матеріал.

Виготовляють прес-форми з різних матеріалів [29]. Аматори в домашніх умовах можуть використовувати пісок, або силікон, щоправда такі форми призначені для лиття без тиску і не дозволяють отримувати високоякісні

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

вироби. А в промисловості використовують: гартовану сталь (дорогий в виробництві, проте досить зносостійкий матеріал, що дозволяє використовувати його для великих теражів - це виправдовує їх вартість), попередньо загартовану сталь (менш зносостійкий), алюміній (економічно вигідний матеріал, що при певній обробці може дозволяти виготовляти десятки, або й сотні тисяч виробів), або мідно-берилієвий сплав (використовують в місцях, де є потреба швидкого відводу тепла).

Пресформа складається з наступних основних елементів:

1. Дві основні частини: матриця та пуансон. Обидві беруть участь у формуванні виробу, проте перша залишається нерухомою, тоді як друга - рухома, підводиться та відводиться, щоб виготовити та дістати готовий продукт.

2. Система розміщення та центрування. Матрицю та пуансон потрібно надійно закріпити та забезпечити чітке й точне змикання-розмикання. На рисунку 1.3. зображено конструкцію, що відповідає за підведення пуансона до матриці та їх стискання.

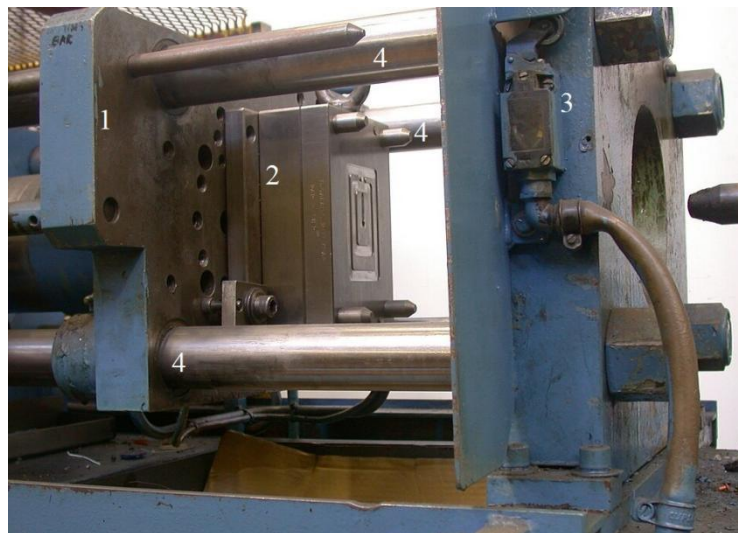


Рисунок 1.3. [30, 31] Конструкція для точного та надійного змикання, розмикання та стискання прес-форми:

1 - Рухома плита, 2 - пуансон (рухома частина прес-форми), 3 - нерухома плита (за нею схована матриця - нерухома частина прес-форми), 4 - напрямні колони для точного рухомої плити.

3. Система ливникових каналів. [32] Окрім порожнини, що формує виріб, повинні бути також канали для можливості затікання, або впорскування матеріалу і канали для відведення стиснутого повітря, котре може зіпсувати виріб, якщо залишиться у середині форми. Готовий виріб здебільшого витягають разом з литником, котрий потрібно потім видалити. Існують форми, де за один захід лиють декілька деталей. В такому випадку множина порожнин в середині форми також з'єднана каналами. В результаті отримуємо серію деталей з'єднаних затверділим в даних канадах матеріалом.

4. Система нагрівання та охолодження. Це потрібно для розплавлення матеріалу, для кращого регулювання температури розплаву та контролю охолодження, для збереження литника в розплавленому стані (це потрібно, щоб він не затвердівав з виробом та не залишався на ньому) або для контролю температури протікання реакції (для реактопластів) і досягається це за рахунок нагрівальних елементів та системи отворів та трубок через які протікає охолоджувальна рідина.

5. Система видалення виробу з форми. В прес-формі повинні бути передбачені виштовхувачі, що після її розкриття викинуть з неї готовий виріб. Потрібно детально врахувати розміщення готової деталі, щоб було легко її дістати та щоб при даному етапі не пошкодити готову деталь. Форма, до речі, залишається на рухомій стороні пресформи (пуансон), щоб витягнути деталь разом з литником та каналами.

Самі прес-форми виготовляють, або методом обробки фрезою на ЧПК-обладнанні, або методом електроерозійної обробки [33], при якому зайвий матеріал видаляється за рахунок серії швидких та потужних електророзрядів (підходить для дуже твердих матеріалів).

Існують два ключових підходи для виготовлення виробів у прес-формах: пресування та лиття. Для першого методу полімерна основа поміщується на матрицю або уже в стані розплаву, або розплавляється саме там, після чого притискається пуансоном так, щоб матеріал розприділився по всій формувальній порожнині. На рисунку 1.4. зображений принцип двного підходу.

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20

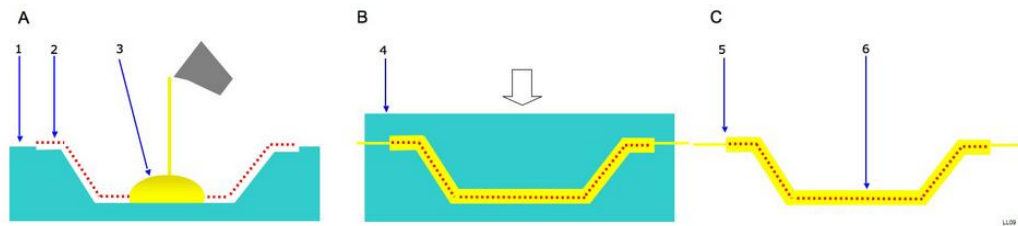


Рисунок 1.4. [34] Технологія пресування:

1- матриця, 2 - формувальна порожнина матриці, 3 - рідка полімерна основа, 4 - пуансон, 5 - облой (залишка матеріалу, що проникли між частинами прес-форми), 6 - готовий виріб.

Для методу лиття полімерів під тиском прес-форма зімкнена вже спочатку. Тоді до неї підводиться сопло через яке в литник впорскується розплав. В такому стані очікується вистигання виробу після чого відбувається його витягання. Схема даного методу зображена на рисунку 1.5.

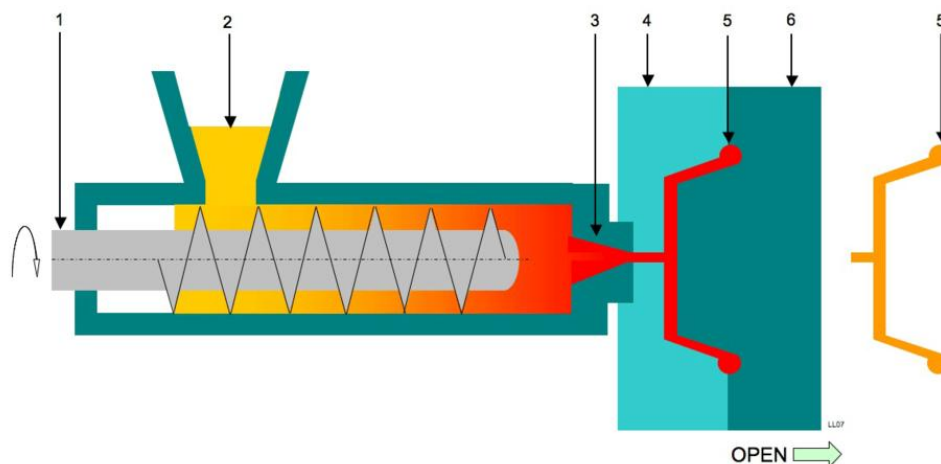


Рисунок 1.5. [35] Технологія лиття в прес-форму:

1 - обертальний шнек (детальніше про даний елемент системи термопластавтомат в розділі 2), 2 - система дозування сировини, 3 - сопло (через яке відбувається впорскування матеріалу), 4 - матриця, 5 (червоним) - заповнена порожнина форми, 5 (жовтим) - готовий виріб, 6 - пуансон.

2. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕРМОПЛАСТАВТОМАТ

2.1. Постановка завдання.

Необхідно оглянути основні етапи роботи та системні вузли, їх приклади, характеристики та реальне обладнання, що може бути застосоване при виробництві системи, котра призначена для лиття невеликих виробів об'ємом до 1000 см³ (тобто до 1л.).

2.2. Основні технічні вузли.

Термопластавтомат - автоматизована система, для лиття пластикових виробів під тиском у перс-форми [36, 37]. Розглянемо основні його елементи та їх призначення. На рисунку 2.1. зображено термопластавтомат, щоправда, в незвичному виконанні: він призначений для одночасного лиття виробу, що складається з двох матеріалів.

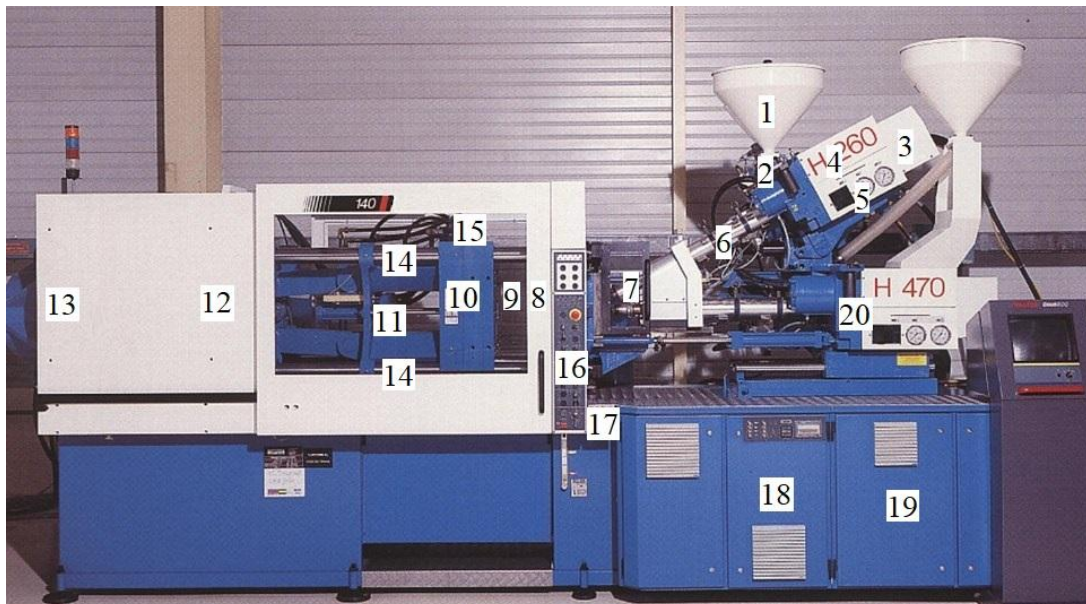


Рисунок 2.1. [38] Термопластавтомат для одночасного лиття виробів з двох видів матеріалів:

1 - бункер з матеріалом, 2 - дозатор, 3 - гідро- або електродвигун, 4 - гідроциліндр, 5 - манометри, 6 - робочий циліндр, 7 - сопло, 8 - нерухома плита (на ній закріплено матрицю), 9 - прес-форма, 10 - рухома плита (на ній закріплено пуансон), 11 - механізм для викидання виробу з прес-форми, 12 - шарнірно-важільний механізм, 13 - задня плита, 14 - направляючі колони, 15 - система для охолодження, 16 - панель керування, 17 - станина, 18 - розподільний щит, 19 - сервопривод, 20 - друга система для лиття матеріалу в ту ж прес-форму (містить всі ті самі елементи, що й перша: бункер, дозатор, гідродвигун, гідроциліндр, манометри, робочий циліндр та сопло).

Спершу термопластичний матеріал у вигляді гранул засипають в бункер (1), звідки він через дозатор (2), потрапляє в робочий циліндр (6). Там під час обертання шнека (це довгий металевий стрижень, з високим виступом, що закручується вздовж нього по спіралі), який приводиться в дію гідро- або ж електродвигуном, пластик перемішується та зміщується вперед. Також матеріал плавиться під дією нагрівачів. Коли добре перемішаного пластику достатньо накопичилось в передній зоні робочого циліндра електродвигун вимикається і в дію вступає гідроциліндр (4). Він проштовхує шнек вперед, котрий, в свою чергу, як поршень вичавлює розплав через сопло (7) в попередньо закриту за допомогою рухомої (10) та статичної плит (8) прес-форму (9). Пластик починає інтенсивно охолоджуватись (15) і дещо зменшуватись в об'ємі, тому його продовжують тримати під тиском нагнітаючи додаткову порцію матеріалу. Коли виріб повністю затвердіє, прес-форму відкривають і виштовхують його за допомогою спеціального стержня (11), а далі відправляють на додаткову обробку, пакування або ж інші етапи виробництва.

2.2.1. Бункер і дозатор.

[39] Бункер, в даному контексті - це ємність для зберігання матеріалів. Конкретно в нашому випадку він виглядає як велика лійка, в котру засипають гранули термопластичного матеріалу. Під дією гравітації вони зсипаються в

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

робочий циліндр через трубчасте звуження - дозатор. Для виготовлення бункера доцільно використати [40, 41] нержавіючу сталь, так як вона достатньо міцна, стійка до корозії, не взаємодіє з пластиком на хімічному рівні та, звичайно ж, має набагато вищу температуру плавлення ніж термопласти. В таблиці 2.1. вказані характеристики бункера та дозатора. А на рисунку 2.2. схематично наведено його розміри.

Таблиця 2.1. Характеристики дозатора та бункера.

Характеристики	Матеріал	Товщина стінок	Верхній діаметр	Нижній діаметр	Висота (без урахування кріплень)
Бункер	Нержавіюча сталь	3 мм.	700 мм.	50 мм.	500 мм.
Дозатор	Нержавіюча сталь	3 мм.	50 мм.	50 мм.	100 мм.

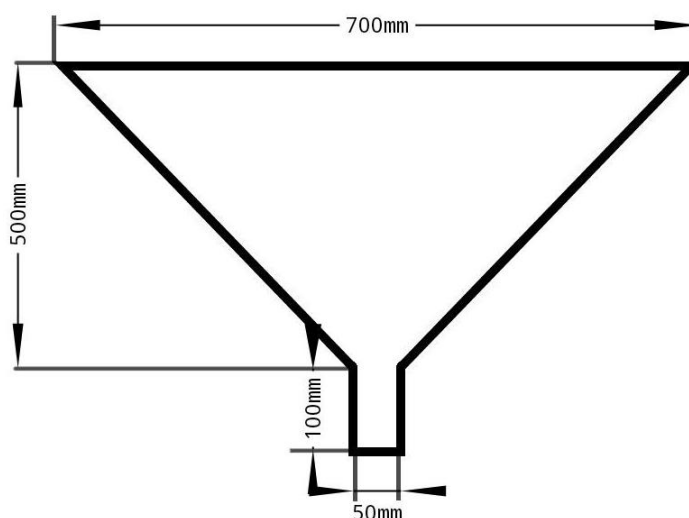


Рисунок 2.2. Розміри бункера.

2.2.2. Електродвигун.

[42] Електродвигун - це прилад, що перетворює електричну енергію в механічну. В контексті проектування системи термопластавтомат він відіграватиме роль рушія шнека (тобто забезпечуватиме його обертання). Окрім самого двигуна доцільно використати редуктор, що зменшить кількість обертів за хвилину, проте забезпечить приріст сили обертання. Розглянемо [43]

черв'ячний мотор-редуктор NMRV 050 (дивитись рисунок 2.3) від ТОВ “Техно-привід”. Ось деякі його технічні характеристики:

- Потужність становить від 0,12 до 1,1 кВт.
- Швидкість обертання від 9 до 373 об/хв.
- [44, 45, 46] Момент сили від 49 до 92 Н.м.
- Вартість на момент написання даної роботи становить 4300 грн.

На рисунку 2.3. зображено зовнішній вигляд двигуна (щоправда на фото менш потужна конфігурація - CMRV 030).



Рисунок 2.3. [47] Черв'ячний мотор-редуктор CMRV 030.

2.2.3. Гідроциліндр.

[48,49] Гідроциліндр - поршнеподібний пристрій, що приводиться в дію рідиною і забезпечує поступальних рух штоку. Він вступає в дію коли пластик повністю розплавлено, [50] гомогенізовано та закумульовано в передній зоні робочої головки. Гідроциліндр починає зміщувати вперед власний шток, а разом і шнек видавлюючи пластик через сопло в прес-форму. Завдяки [51] муфті зчеплення з електродвигуном втрачається і припиняється обертання. Проста аналогія: уявіть, що ви берете медичний шприц та вичавлюєте його вміст. Отож тут схожий процес: замість шприца - робоча головка, замість

поршня - шнек, замість лікувального вмісту - розплав термопластів, а замість вашої руки, що створює тиск - гідроциліндр...

Характеристики термопластавтоматів в контексті тиску та швидкості впорскування можуть відрізнятись в залежності від типу матеріалу, його форми, розміру та деяких інших нюансів [52, 53, 54, 55, 56, 57, 58]. Проте зазвичай вони перебувають в таких межах: для тиску - 40-150 мПа (або 400-1500 бар), для швидкості впорскування - 1-50 см³/с. Проведемо деякі розрахунки. Якщо система повинна виробляти невеликі пластикові вироби об'ємом 700 - 900 см³. Для цього достатньо обрати шнек діаметром 10 см та забезпечити його робочий хід 15 см. Перевіримо усе за формулою обчислення об'єму циліндра: $15 * \pi * 5^2 = 1178 \text{ см}^3$ - кількість розплаву достатня. Увесь цей об'єм матеріалу повинен бути введений у прес-форму приблизно за час від 1-ї до 3-х секунд під високим тиском.. Для забезпечення таких умов потрібно підібрати відповідну гідравлічну систему (замість неї можна використовувати спеціалізовану електричну). Для прикладу розглянемо наступне обладнання:

[59] Гідроциліндр Multi Purpose Cylinder HGC 75 S 15 від компанії Holmatro. До основних його характеристик належать: Максимальний робочий тиск - 720 бар, тоннаж - 75 т., хід поршня 150 мм., діаметр поршня - 97 мм., ефективний вміст оливи 1558 см³, підключення до гідролінії типу А 118 та пружинний механізм повернення.

Потужні насоси R, RG - Radial piston pumps від компанії HAWE Hydraulik[60, 61, 62]. Розглянемо на прикладі збірки 6016. Характеристики: постійна швидкість обертання - 1450 об/хв., насосні елементи (кількість - 42, діаметр поршня - 10мм), здатність перекачувати 34,5 л/хв. (або ж 25,07 см³ за 1 оберт), максимальний тиск 450-500 бар та максимальна потужність підтримуваного двигуна до 30 кВт.

Даний насос здатен перекачувати 34,5 л/хв., а це 575 см³/с. Враховуючи те, що об'єм гідроциліндра 1558 см³, то для повного ходу його поршня знадобиться близько 3-ох секунд роботи насоса, що прийнятно. Компанії Holmatro та HAWE Hydraulik дають величезний вибір різних конфігурацій їх

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

продукції, тому тонко підбираючи конкретні характеристики можна змінювати тиск, силу та швидкість роботи гідросистеми конктерно для виконання потрібних завдань. Зрештою можна навіть використати декільки гідроциліндрів, як зображено на рисунку 2.4.

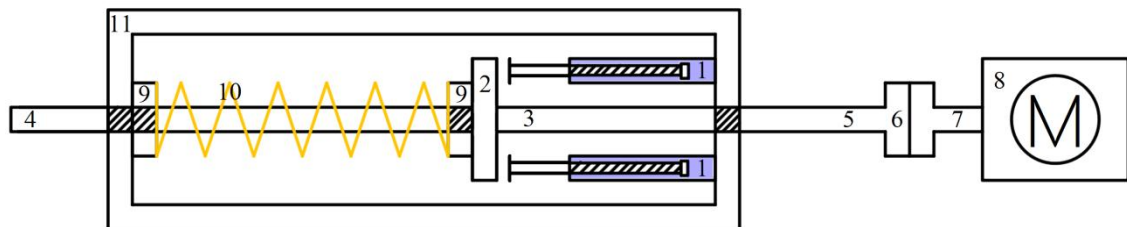


Рисунок 2.4. Схема конструкції (з двома гідроциліндрами) для забезпечення поступального руху шнека:

1 - гідроциліндри, 2 - жорстко прикріплена до валу платформа на яку тиснутимуть гідроциліндри, 3 - вал, з'єднаний з двигуном та шнеком, 4 - місце кріплення валу до шнеку, 5 - місце кріплення валу до муфти, 6 - муфта, 7 - вал електродвигуна, 8 - електродвигун, 9 - підшипники, до яких кріпитиметься пружина, 10 - пружина, що після вимикання гідроциліндрів повертатиме вал у вихідне положення (кріплення до підшипників забезпечує її незалежність від обертання валу), 11 - корпус конструкторії.

Компанія HAWE Hydraulik пропонує відповідні двигуни для свої насосів, проте можна також розглянути [63] серводвигуни SIMOTICS S-1FT7 від компанії Simens. Компактна версія СТ пропонує: швидкість обертання - 1500-6000 об/хв., потужність - 0,85-45,5 кВт та крутний момент 2-250 Н.м. (проте всі ці характеристики залежать від конструкції та збірки, тому підбираючи конктерну модель, варто зауважити, що можуть бути певні компроміси).

2.2.4. Муфта.

Муфта це елемент механізму, що відповіде за передавання крутного моменту. Вони бувають різних типів: жорсткі, компенсаційні, пружні тощо. Але нас цікавлять саме зчіпні муфти, так як вони дадуть змогу від'єднувати

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

шнек від вала електродвигуна на етапі, коли він повинен змінити обертальний рух на поступальний. [64, 65, 66, 67] Отож розглянемо кулачкову та фрикційну муфти. Перевага першої заключається в тому, що обертальний момент передається фактично без втрат. Проте фрикційна муфта працює за рахунок сили тертя між обома її частинами, що дозволяє приєднувати їх при величезних різницях швидкості, так як крутний момент передається плавно, тому що деталі, спершу, дещо пробуксовують одна відносно другої. Ця особливість відіграє також роль запобіжника: якщо шнек з якоїсь причини заклинить і перестане обертатись, двигун зможе продовжити роботу. Проте і тут є проблема. Навряд чи ми зможемо досягнути достатньої сили притискання обох частин для належного передавання крутного моменту.

Розглянемо [68] електромагнітну муфту, а саме такий її підвид, в якому сила також передаватиметься за рахунок фрикційного зчеплення, проте притискання частин забезпечуватимуть потужні електромагніти. В такому випадку зберігаються переваги, такі як: плавність передавання крутного моменту і можливість пробуксовки. [69, 70] Для виготовлення фрикційних дисків доцільно використати: для одного - сталь (або чавун), для другого - гуму, так як коефіцієнт тертя між ними складає від 0,45 - 0,60.

Як приклад розглянемо [71] контактну електромагнітну муфту ЕТМ-122 ТОВ "ТК ПРОМЕЛ". Потужність її котушки складає 59 Вт, приводиться в дію від напруги постійного струму 24В. Можлива частота обертання - 2300 об/хв. Вигляд муфти зображено на рисунку 2.6.



Рисунок 2.5. [72] Контактна електромагнітна муфта ЕТМ-122 ТОВ "ТК ПРОМЕЛ".

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

2.2.5. Манометри.

Для контролю роботи гідроциліндра та інших подібних систем доцільно використати манометри (прилади, що здатні вимірювати тиск) [73]. Як приклад розглянемо Манометр надвисокого тиску СВ-2500 ТОВ "Укрпромцентр ЛТД" [74]. Важить такий прилад 6 кг. а діаметр його становить 25 см. Призначений він для вимірювання гідравлічного тиску аж до 250 мПа (2500 бар), тому ідеально підходить для наших завдань. Зображено його на рисунку 2.5.



Рисунок 2.6. [75] Манометр надвисокого тиску СВ-2500 ТОВ "Укрпромцентр ЛТД".

Манометри потрібні для відстеження тиску людиною. А щоб система могла автоматично вираховувати його й вносити корективи у власну роботу потрібен відповідний датчик. Розглянемо [76] 33X High Accuracy Digital Output Pressure Sensor. Характеристики: невелика вага, цифрові інтерфейси USB, RS232 та RS458, досить висока точність (похибка 0,05% від всієї шкали) та діапазон вимірювань - 0,3-1000 бар.

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		29

2.2.6. Робочий циліндр та шнек.

Робочий циліндр - це одна з основних ланок системи. В ній відбувається плавлення й перемішування матеріалу, а також звідси відбувається впорскування розплаву в прес-форму. На рисунку 2.7. зображено схему робочого циліндра.

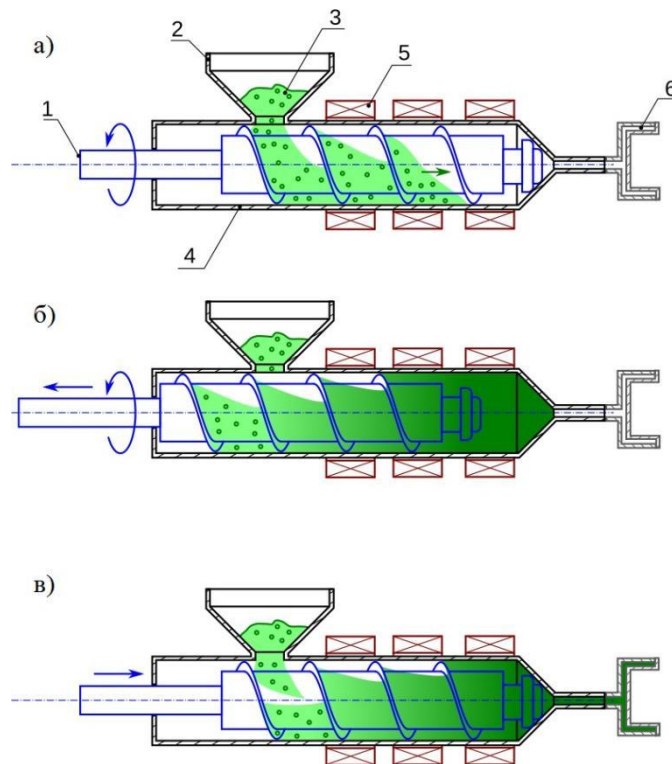


Рисунок 2.7. [77] Схема робочого циліндра в процесі роботи:

1 - шнек, 2 - бункер, 3 - гранульований термопластичний матеріал, 4 - корпус робочого циліндра, 5 - нагрівальні елементи, 6 - порожнина прес-форми, в яку впорскуватиметься матеріал.

а) - перемішування та нагрівання матеріалу, б) - позадвжній рух шнека назад і акумулювання розплаву в передній частині робочого циліндра, в) - поступальний рух шнека вперед та впорскування розплаву в прес-форму.

[78] Шнек - довгий вал з виступом, який закручується вдовж нього по спіралі. Спершу гранулят потрапляє з бункера через дозатор в робочий циліндр, де перемішується й плавиться. За рахунок [79] геометрії шнека і його обертання розплав гомогенізуючись переміщується в передню зону робочого циліндра і

акумулюється там. Розмірні характеристики шнека наступні: відношення діаметру шнека до його довжини - 1:15-25 (в даному випадку робоча довжина шнека становить 200 см, а його діаметр 10 см); відстань між спіральними витками приблизно дорівнює діаметру шнека (10 см); відстань між робочим циліндром та витками шнека (повинна бути мінімальною, щоб забезпечити ефективне переміщення розплаву та подільше його впорскування) - не більше 0,03 діаметра шнека. Як було обчислено в пункті 2.1.3. “Гідроциліндр” зона акумулювання матиме об’єм 1177,5 см³ та довжину 15 см. Важливо те, що [80] спершу, шнек знаходиться достатньо близько до сопла, щоб не було зон з погано перемішаний пластиком, потім (безпосередньо перед процесом впорскування) шнек відводиться назад звільняючи місце для порції матеріалу, а продовжуючи обертатись він все ще накопичує розплав в області перед соплом. Довжина внутрішньої порожнини робочого циліндра становить 215 см. (робоча довжина шнека + довжина зони акумулювання). На етапі гомогенізації та плавлення пластику відстань між соплом і шнеком становить 1 см, коли датчики температури свідчать про досягнення розплавом достатньої температури прес-форма починає змикатись і за рахунок спеціального важільного механізму паралельно поволі відводить систему з електродвигуном та приєднаним до нього шнеком назад на 14 см. Цей процес збільшує відстань між соплом та шнеком з 1 см. до 15 см. Далі електромагнітна муфта вимикається, щеплення між двигуном та шнеком зникає і в дію вступає гідроциліндр, що проштовхує шнек на 15 см. вперед чим впорскує весь об’єм розплаву в уже зімкнуту прес-форму. Перевага даного методу заключається в тому, що не потрібно додаткового елетро- чи гідроприводу конкретно для відведення шнеку назад, а все зробить гідроциліндр, що відповідає за замикання, або ж дотискання прес-форми. Схематичне зображення механізму відведення електродвигуна з шнеком зображено на рисунку 2.8.

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

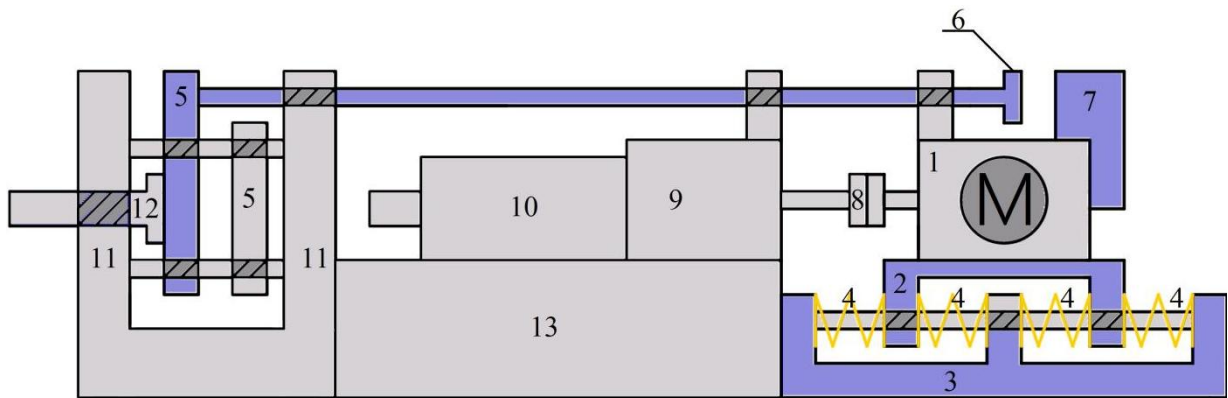


Рисунок 2.8. Схематичне зображення механізму відведення електродвигуна з шнеком (синім кольором виділено основні елементи):

1 - електродвигун, 2 - рухома платформа на якій закріплено електродвигун, 3 - стійка, вздовж якої може рухатись платформа, 4 - пружини, що центрують рухома платформу відносно стійки, 5 - рухомі плити (для замикання прес-форми), 6 - тиснучий вал, що передає тиск від рухомої плити, 7 - платформа жорстко закріплена на двигуні на яку передається тиск з тиснучого валу, 8 - муфта - з'єднує двигун та шнек, 9 - відділення з гідроциліндрами для забезпечення тиску на шнек під час впорскування розплаву, 10 - робочий циліндр, 11 - нерухомі плити, 12 - гідроциліндр, що замикає та дотискає прес-форму, разом з тим, за посередництва рухомої плити і тиснучого валу, штовхає електродвигун, що тягне за собою шнек, чим звільняє простір і дозволяє накопичення розплаву в зоні акумулювання матеріалу, 13 - [81] станина.

2.2.7. Нагрівачі.

[82] Нагрівачі кріпляться на робочий циліндр та призначені розігрівати його для того, щоб гранулят термопластів всередині розплавився. Розглянемо керамічно кільцевий нагрівач (хомутовий нагрівальний елемент) компанії "TEN 24". Його максимальна потужність становить: 9 Вт/см^2 , робоча температура складає 500°C , працюють від напруги 12 - 400 В., а також бувають різних діаметрів (в діапазоні: 6-100 см), тому можна легко підібрати під будь-який робочий циліндр. Вигляд такого нагрівача зображено на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9. [83] Керамічний кільцевий нагрівач (хомутовий нагрівальний елемент) компанії “TEN 24”.

Для кращого регулювання температури потрібно використовувати також прилад для її вимірювання, щоб вчасно вимикати нагрівання. Розглянемо аналоговий датчик [84, 85, 86] RS PRO 6212417 Thermocouple Type K 6.5 in (165mm) 1292F (700C) Max 316L Stainless Steel - здатен вимірювати температуру від 0 до 700°C та має корпус з нержавіючої сталі 316L. Також є й інший варіант [87] датчик температури термопара K-type M10 екранований. Перевагою є набагато нижча вартість, здатність вимірювати від'ємні температури (від -50°C до 600°C), а також наявна різьба, що може бути більш зручно при встановленні датчика на робочий циліндр. Прето, як на мене, перший варіант буде більш надійним та краще витримуватиме непрості умови виробництва.

2.2.8. Сопло.

[88] Даний елемент виглядає як трубка, є частиною робочого циліндра і через нього впорскується пластик. Його виготовляють зі сталі, а конструкція повинна бути такою, щоб достатньо щільно й герметично (враховуючи величезний тиск) прилягати до пресформи.

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

[36] Рогожинський Юрій Володимирович студент Національного технічного університету України «Київського Політехнічного Інституту імені Ігоря Сікорського» в своїй магістерській дисертації “Лінія для виробництва пластикових деталей для автомобілів з модернізацією термопластавтомата” провів пошук запатентованих рішень для сопла, що здатне закриватись (це потрібно, щоб розплав на етапі гомогенізації та плавлення не витікав надаремно). Патентний пошук проводився ним на сайтах www.epo.org, www1.fips.ru, base.ukrpatent.org та patents.su і. Нас цікавлять знайдені ним три патенти:

1. Сопло самозакриваюче для заповнення форм. Патент № 109044(RU), МПК В29С 45/23. Коршун Г.С., Медведєв С.М. Опубл.—10.10.2011.

2. Сопло литтєвої машини для пластмас. Патент № 1351807 (SU), МПК В29С 45/23. Ніколаєв Г.І., Наборщиков П.Г. Опубл. – 15.11.1987.

3. Сопло литтєвої машини для полімерів. Патент № 677946 (SU), МПК В29F 1/03. Межуєв В.В., Бородін Р.Л., Тагунов А.Я., Ащеулов А.А.; Опубл. – 05.08.1979.

[85] Є різні типи запірних форсунок: голчаста форсунка, що приводиться в дію пружиною (вона виштовхує голку чим закриває сопло, а для відкриття потрібен високий тиск всередині робочого циліндра), пневматичним, або ж гідравлічним механізмом (в даному методі сопло також закрито голкою, проте цим керує не механічна пружина, але зовнішній механізм), ВНР-форсунка з пневмо- або гідроприводом (перпендикулярно до каналу знаходиться болт, що здатен рухавись вгору та вниз чим, відповідно, закриває та відкриває канал), пневматичний привід з поворотним запірним болтом (в даній системі є поворотний болт з отвором: в одному положенні отвір розташований паралельно каналу і пропускає розплав, в іншому ж розташований перпендикулярно і не пропускає нічого - процесом керує зовнішній механізм). Проте все ж пропоную обрати механічний варіант відштовхуючись від вищезгаданих патентів. На рисунку 2.10. зображено пневматичний привід з поворотним запірним болтом.

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

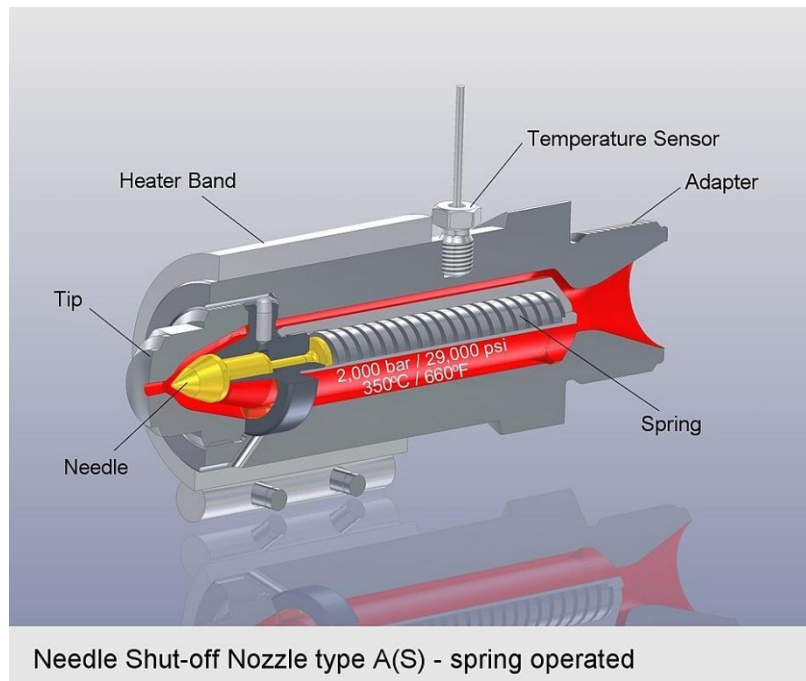


Рисунок 2.10. [89] Пневматичний привід з поворотним запірним болтом.

Важливо налаштувати механізм так, щоб сопло відкривалось при тиску 400 бар - якраз в момент коли гідроциліндр почне прошовувати шнек для впорскування розплаву в підведену прес-форму.

2.2.9. Прес-форма, система охолодження та система викидання виробу.

Прес-форми було розглянуто в розділі 1 Аналіз існуючих рішень, підрозділі 1.3. Види прес-форм. Тут акцентуємо увагу на системах охолодження і викидання. Конструкція прес-форми повинна передбачати отвори й канали не лише для руху розплаву, але й для інших цілей. Так, в залежності від виробу, його форми, товщини та інших характеристик, потрібно виділити місце для системи охолодження. Фактично це насос ([90] компанія Grundfos пропонує широкий вибір насосів), набір трубок з рідиною для відводу тепла та охолоджуючий елемент ([91] TEYU S&A пропонуть широкий вибар охолоджуючих систем).

Отож, проєктуючи прес-форму враховуючи геометрію виробу потрібно провети серію каналів для підведення гідролінії через яку насос перекачуватиме

охолоджену воду. Для відстеження процесу потрібна термопара (проте з більшою точністю та розрахована на нижчі температури).

Також важливою є система викидання виробу. Після розкриття прес-форми готовий виливок виймається за допомогою різних методів: пневматичний (його видувують за допомогою стисненого повітря), роботизований (використовується робо-рука), механічний (виріб або натикається на штирі і випадає, або вони за допомогою механізму самі його виштовхують). На рисунку 2.11. зображена схема прес-форми з штирем.

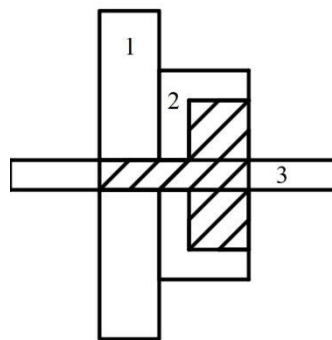


Рисунок 2.11. Схема прес-форми з штирем для викидання виробу.

1 - рухома плита, 2 - рухома частина прес-форми, 3 - наскрізний штир.

Отож, коли матеріал охолоджено, прес-форму відкривають, при тому одна з її частин відходить назад несучи за собою виливок, а штир проходить наскрізь тієї частини прес-форми і впирається у виріб, який за рахунок цього випадає. При проєктуванні системи викидання варто врахувати деякі нюанси і правильно все спроектувати. В одній з частин прес-форми фактично є отвір (для штиря) і це може спровокувати витік розплаву та зіпсуття виробу. Тому важливо ідеально підігнати всі елементи. Зовнішній діаметр штиря та внутрішній діаметр отвору для його проходження повинні бути майже ідентичними, щоб не було місця для витоку. Також цю зону можна більш ретельно охолоджувати, щоб навіть, якщо туди проникне розплав, він затвердів та не допускав туди подільші порції матеріалу. Ще одним запобіжним заходом

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

є проєктування прес-форми (даний канал для штиря можна розмістити в такому місці, де доступ розплаву до нього буде мінімальний та менш агресивний). Також довжина каналу для штиря повинна бути достатньо великою, щоб навіть, якщо матеріал туди проникне, щоб він мав час затвердіти та не витікати назовні.

2.2.10. Система закривання, розкривання та дотискання пресформи.

Дана система дуже важлива, бо від неї залежить чи розплав перетвориться у якісний виріб, чи у зіпсований. На рисунку 2.12 зображена схема механізму зведення плит; закривання, дотискання та підведення до сопла прес-форми.

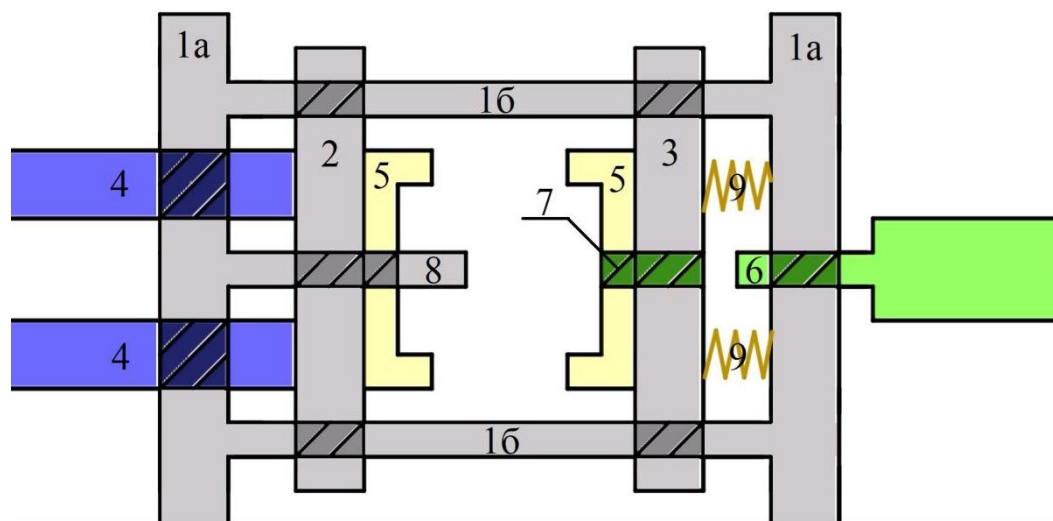


Рисунок 2.12. Схема механізму зведення плит; закривання, дотискання та підведення до сопла прес-форми:

1a - нерухомі плити, 1б - напрямні колони, 2 - рухома плита №1, 3 - рухома плита №2, 4 - гідроциліндри для замикання та затискання прес-форми, 5 - частини прес-форми, 6 - сопло, 7 - литниковий канал, 8 - штир для викидання готового виробу, 9 - пружини.

Отож, гідроциліндри спершу підводять рухома плиту №1 до 2-ї плити і змикають прес-форму. Далі, вони притискають її до сопла за рахунок того, що продовжують рух долаючи опір пружин. Для даної системи можна розглянути

інші конфігурації, уже згаданих раніше, гідроциліндрів Holmatro, насосів Hawe та двигунів від тих же Hawe, або ж Siemens. Для даного завдання швидкість спрацювання гідросистеми повинна бути менша, але тиск та сила набагато більші. Також важливо врахувати, що гідроциліндр повинен мати уже гідравлічну (а не пружинну) систему повернення.

2.2.11. Програмований логічний контролер.

Програмований логічний контролер (ПЛК) контролює і оперує параметрами системи в залежності від програми, яку йому попередньо задано. В нього є аналогові й цифрові входи до яких підключені різноманітні датчики і сенсори (вони дозволяють відслідковувати різноманітні параметри) і з яких він приймає інформацію, опрацьовує її та в залежності від алгоритму і встановлених вимог посиляє інший сигнал на виходи, до яких підключені виконавчі механізми, що бажаним чином впливають на систему. Розглянемо [92] Maple Systems cMT-CTRL01. Він підтримує середовище CodeSys та мову ST, які будуть використовуватись для написання програми для симуляції та демонстрації роботи системи. Також він дає змогу підключати до 16 модулів розширення входів/виходів. Інші його технічні характеристики наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Характеристики Maple Systems cMT-CTRL01.

Характеристика	Значення
CPU	Dual-Core 32-bit RISC 1 GHZ
Оперативна пам'ять	512 Мб
Flash пам'ять	4 Гб
Слот для SD-карти	1 слот для карт Secure Digital (SD/SDHC), розраховані на 32GB
CodeSys протокол	Modbus TCP/IP Master, EtherCAT Master

Продовження таблиця 2.2. Характеристики Maple Systems cMT-CTRL01.

Вхідні напруга / струм	24 ± 20% VDC / 310мА @ 24 VDC (nominal)
Потужність	7,44 Вт
Розміри	109 x 81 x 50 мм.
Вага	0, 24 кг.
Сертифікація	cULus, CE, RoHS

3. НАПИСАННЯ ПРОГРАМИ ДЛЯ ВІДОБРАЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ

3.1. Основні етапи роботи термопластавтомату.

Робота термопластавтомата складається з декількох основних етапів, які зображено на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1. Структурна схема основних етапів роботи термопластавтомату.

Під час першого етапу завантаження матеріалу, робітники засипають гранули термопластів в бункер. Це може бути як абсолютно нова сировина, так і частинки знищених й подрібнених старих речей. Після цього матеріал під дією сили тяжіння зсипається в робочий циліндр. На другому етапі уже починається автоматизація. Оператор перевіряє вузли системи на наявність поломок чи похибок і тоді вмикає обладнання. Програмований логічний контролер (ПЛК) посилає сигнал на електромагнітну муфту, на електродвигун та нагрівачі робочого циліндра. Завдяки цьому шнек зчеплюється з валом мотору та починає обертатись перемішуючи пластик та проштовхуючи його вперед. Нагрівачі забезпечують плавлення матеріалу. Коли пластик достатньо нагрівається і це фіксує термopар, тоді ПЛК посилає сигнал до наступних

вузлів і система переходить до наступного, третього етапу. Вмикається електродвигун, що відповідає за роботу гідроциліндра для змикання прес-форми. Паралельно з цим, одна з рухомих плит штовхає назад на рухомій плиті мотор, що обертає шнек. Даний механізм згадувався раніше та схематично зображений на рисунку 2.8. Враховуючи те, що муфта активна, то і сам шнек відводиться назад на наперед передбачену відстань збільшуючи простір біля сопла (так звана зона акумулювання матеріалу) і нагнітаючи туди розплав. Коли прес-форма повністю замкнута та щільно притиснута до сопла і це зафіксував тензодатчик, тоді система переходить до четвертого етапу. ПЛК активує нагрівачі або охолоджуючу систему для прес-форми (щоб задати їй потрібної температури для кращого контролю над затвердінням розплаву), також вимикає муфту - втрачається передавання крутного моменту від двигуна і вступає в дію гідроциліндр, що з великими значеннями тиску і швидкості штовхає шнек вперед. При таких умовах механічний клапан в соплі відкривається і матеріал впорскується в порожнину прес-форми. На п'ятому етапі остаточно вмикається охолоджуюча система (даний процес контролюється термопарами). Також варто пам'ятати, що нагнітання розплаву під тиском все ще відбувається, щоб заповнити простір, який з'являється після усадки полімеру. При досягненні потрібної температури виробу, на цьому етапі вмикається інша гідролінія, що відкриває прес-форму і через це, механічним способом, виріб випадає.

На рисунку 3.2. зображено функціональну схему, що відображає основні компоненти системи та взаємозв'язки між ними. Помітно, що система має зіркову архітектуру, так як кожен вузол та пов'язані з ними сенсори, що відслідковують параметри або об'єкта управління, або ж смого обладнання не взаємодіють безпосередньо один з одним, але все "спілкування" відбувається через ПЛК. На рисунку 3.3. зображено схему системи котра показує 4 основні етапи роботи та обладнання (виконавчі механізми з сенсорами), що використовують на кожному з них.

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		41



Рисунок 3.2. Функціональна схема системи.

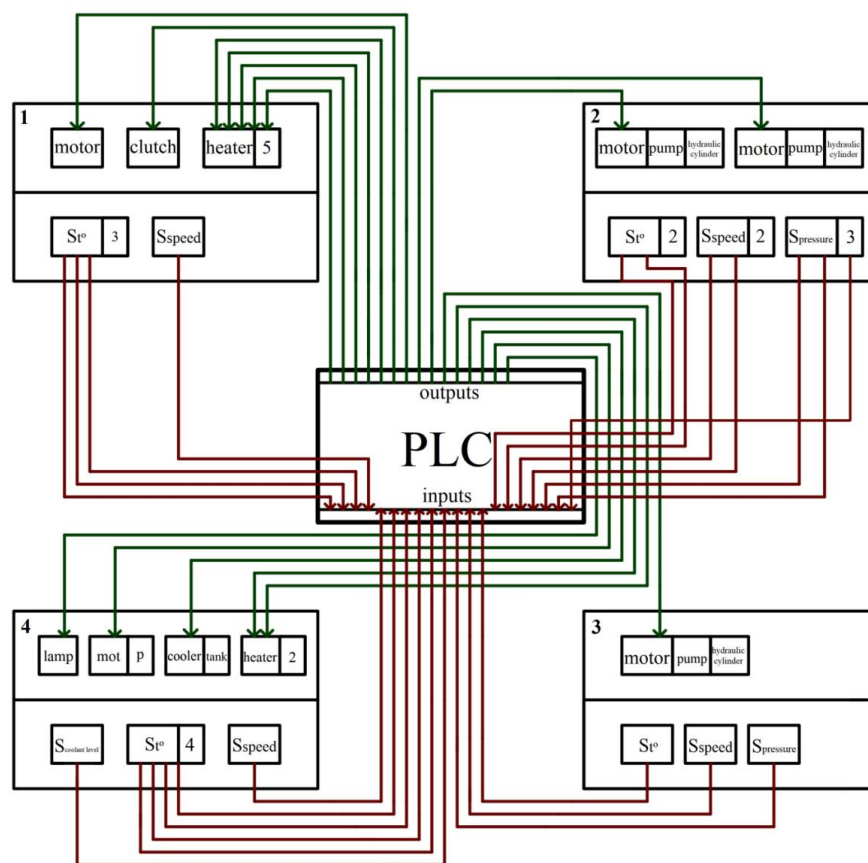


Рисунок 3.3. Функціональна схема для основних етапів роботи системи термопластавтомат:

1 - етап плавлення та гомогенізації, 2 - етап підведення, відведення, замикання та розмикання прес-форми, 3 - етап впорскування, 4 - етап охолодження.

3.2. Написання програми.

Розглянемо основну структуру програми, яка базуватиметься на раніше згаданих схемах. Її код зображено в додатку А. Основне тіло програми міститься в циклі (while), котрий перевірятиме наявність живлення системи (TURN_ON_SYSTEM). Коли умова виконана, в дію вступить оператор case. Його особливістю є те, що він містить декілька фрагментів коду, але виконує лише один з них, в залежності від значення змінної step, котру він приймає як аргумент. Враховуючи що даний оператор знаходиться в циклі, то під час кожної його ітерації виконуватиметься один крок case. Спершу вмикається муфта, далі електродвигун, після чого система очікує, щоб температура в робочому циліндрі досягнула бажаного значення, що свідчитиме про повноцінне розплавлення матеріалу, щоб увімкнути систему замикання прес-форми, яка також (це особливість саме моєї системи) відводитиме електродвигун з шнеком назад накопичуючи розплав в зоні акумулювання (дивитись розділ 2, підрозділ 2, пункт 2.2.6. Робочий циліндр та шнек). Наступний крок оператору case очікує значення тензодатчика, який повинен засвідчити про достатнє притискання форми до сопла. Якщо умова виконана, тоді вимкнуться муфта та шнековий електродвигун і увімкнеться гідроциліндр впорскування. На наступному кроці, коли значення температури прес-форми досягне бажаного, активується гідроциліндр відкриття прес-форми, внаслідок чого виріб випаде. Також в програмі наявний ряд умовних операторів IF. Вони перевіряють стан системи кожної ітерації циклу після виконання кроку case. Як ви помітили з попереднього опису функціональності програми на жодному з кроків не вмикаються нагрівачі та охолоджувачі, але це тому, що їх також врегульовують оператори IF. Логіка доволі проста. Якщо температура робочого циліндру занадто низька, тоді вмикаємо нагрівачі, якщо ж зависока - вимикаємо. Для прес-форми принцип подібний. Якщо температура зависока, тоді вимикаємо нагрівачі та вмикаємо охолоджувач, якщо занадто низька, тоді робимо все навпаки. Є ще й третій випадок. Якщо температура точно така як

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		43

потрібно, тоді вимикаємо як нагрівач так і охолоджувач. Для вдосконалення системи, можна використовувати ПД-регулятор, що дасть змогу дуже гнучко і точно врегульовувати температуру враховуючи всі потрібні математичні параметри. Після зникнення живлення (тобто, в даній симуляції, коли $TURN_ON_SYSTEM = FALSE$), відбувається вимкнення всіх вузлів та скинення системи на початкові налаштування ($step = 0$).

Розглянемо детальніше кожен вузол з функціональної схеми, що на рисунку 3.2 та відповідні фрагменти програми.

3.3. Електродвигун.

На рисунку 3.4. зображено схему електродвигуна з основними компонентами (в тому числі й з сенсорами), який забезпечує обертання шнека.

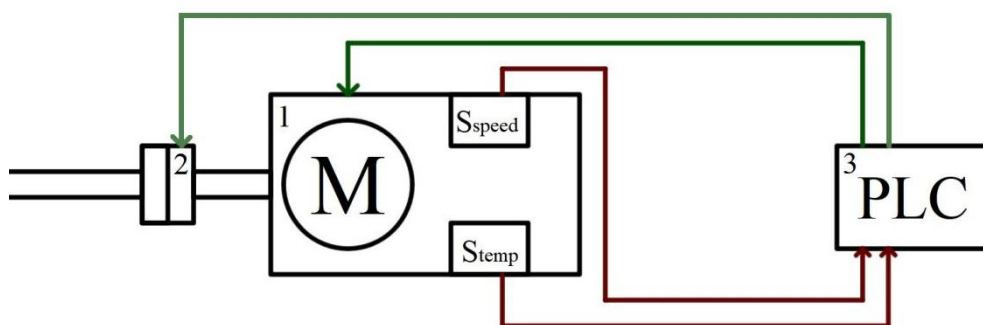


Рисунок 3.4. Схема основних компонентів вузла для забезпечення обертання шнека:

1 - електродвигун, 2 - електромагнітна муфта, 3 - програмований логічний контролер.

Програмований логічний контролер посилає сигнали для увімкнення електромагнітної муфти й самого двигуна, а також приймає дані від сенсорів, що реагують на швидкість обертання та нагрівання. На рисунку 3.5. зображено фрагмент коду програми для симуляції роботи термопластавтомату, який, власне, відповідає за увімкнення муфти й двигуна.

```

CASE step OF
  0:
    DONE_LAMP := FALSE;
    IF STOP_hand = FALSE AND STOP_auto = FALSE AND S_plastic AND start_button THEN
      Melting_clutch := TRUE;

      Timer(IN := TRUE, PT := T#1S);
      IF Timer.Q THEN
        Timer(IN := FALSE);
        step := 1;
      END_IF;
    END_IF;

  1:
    IF Melting_clutch THEN
      Melting_worm_motor := TRUE;
      Timer(IN := TRUE, PT := T#2S);

      (*Задаємо значення сенсорів самі*)
      Melting_S_temp_motor := 40; (*градусів*)
      Melting_S_speed_motor := 1200; (*об/хв*)
      Melting_S_temp_plastic1 := 150; (*градусів*)
      Melting_S_temp_plastic2 := 132; (*градусів*)

      IF Timer.Q THEN
        Timer(IN := FALSE);
        step := 2;
      END_IF;
    END_IF;

```

Рисунок 3.5. Фрагмент коду програми для симуляції увімкнення муфти й двигуна.

Даний фрагмент ставить умову для змінних start_button - кнопка запуску, STOP_hand та STOP_auto - кнопка автоматичної та ручної аварійних зупинок, а також S_plastic - сенсор, що вказує на наявність матеріалу в бункері. Якщо пластик присутній, немає зупинок і оператор вмикає систему - ПЛК активує перший крок. Спершу вмикається електромагнітна муфта (Melting_clutch) й таймер, що створює затримку для комфортного відстеження роботи системи та симулювання часу спрацьовування вузла. Після цього відбувається перехід до наступного кроку (step 1). Тепер уже активується електродвигун (Melting_worm_motor), встановлюється таймер і задаються симуляційні значення для сенсорів: Melting_S_temp_motor (температура двигуна), Melting_S_speed_motor (швидкість обертання двигуна), Melting_S_temp_plastic1 (термопара №1 робочого циліндра) та Melting_S_temp_plastic2 (термопара №2 робочого циліндра).

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3.4. Робочий циліндр.

На рисунку 3.6. зображено функціональну схему робочого циліндра.

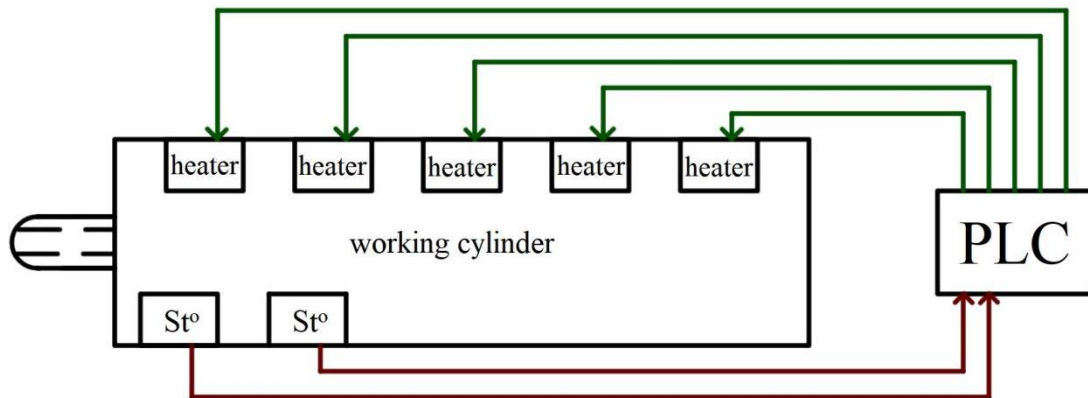


Рисунок 3.6. Схема взаємодії основних компонентів робочого циліндра з ПЛК.

Даний вузол містить 5 нагрівальних елементів та дві термопари для відслідковування температури (приклади даного обладнання згадувались в 2 розділі, 2 підрозділі, пункті 2.2.7. Нагрівачі). Як ви помітили, розглядаючи умікнення муфти та електродвигуна для забезпечення обертання шнеку, ми не згадували про увімкнення нагрівачів у межах дії оператора case. Це тому що, вони активуються автоматично завдяки дії умовних операторів. Рисунок 3.7. зображує фрагмент програми, що симулює увімкнення нагрівачів робочого циліндра.

```
(*ПЕРЕВІРКА НАГРІВАЧІВ*)  
IF Melting_S_temp_plastic1 > 160 OR Melting_S_temp_plastic2 > 160 THEN  
    Melting_heaters := FALSE;  
ELSE  
    Melting_heaters := TRUE;  
END_IF;
```

Рисунок 3.7. Код для симуляції увімкнення нагрівачів.

Спершу, відбувається перевірка температури сенсорів Melting_S_temp_plastic1 та Melting_S_temp_plastic2. Якщо вона занадто висока, то для того, щоб не спалити пластик та не зіпсувати матеріал нагрівачі вимикаються. Але якщо температура нижча ніж 160 градусів за шкалою Цельсія, тоді нагрівачі вмикаються. Даний алгоритм спрацює зразу ж після першого виконання кроку case. Тобто після увімкнення муфти, зразу активуються і нагрівачі.

3.5. Гідроциліндри.

На рисунку 3.8. зображена схема зв'язків гідроциліндра (що працює механічно з'єднаним в парі з насосом та електродвигуном), сенсорів та ПЛК, що і приводить обладнання в дію. Таких гідроциліндрів для термопластавтомата потрібно щонайменше два, або й більше, залежно від конфігурації.

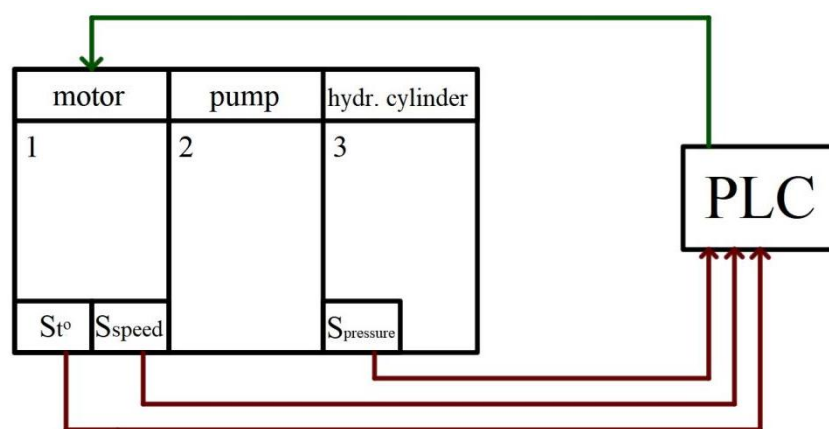


Рисунок 3.8. Схема взаємодії основних компонентів гідросистеми з ПЛК:
1 - електродвигун, 2 - насос, 3 - гідроциліндр.

Принцип коду, що відповідає за симуляцію даного вузла дуже схожий на попередні. Враховуючи, що гідроциліндрів використовується декілька (в моєму випадку 3), то і фрагментів програми є декілька. На рисунку 3.9. зображено симуляцію закриття прес-форми.

```

2:
IF Melting_S_temp_plastic1 > 130 AND Melting_S_temp_plastic2 > 130 THEN
    MoldClosing_Hydraulic_cylinder := TRUE;

    Timer(IN := TRUE, PT := T#2S);

    (*Значення сенсорів:*)
    MoldClosing_S_temp_motor := 40; (*градусів*)
    MoldClosing_S_speed_motor := 1400; (*об/хв*)
    MoldClosing_S_pressure := 800; (*бар*)

    IF Timer.Q THEN
        Timer(IN := FALSE);
        step := 3;
    END_IF;
END_IF;

3:
IF MoldClosing_Hydraulic_cylinder THEN
    MoldClosing_S_pressure_position := 100; (*процентів*)

    step := 4;
END_IF;

```

Рисунок 3.9. Фрагмент програми для симуляції закриття прес-форми.

Під час цього кроку case (коли step = 2), відбувається перевірка Melting_S_temp_plastic1 та Melting_S_temp_plastic2. Якщо розплав достатньо нагріється і їх значення будуть більші ніж 130 °C тоді активується гідросистема для закриття прес-форми (MoldClosing_Hydraulic_cylinder), що паралельно механічно відштовхне шнек назад збільшуючи об'єм розплаву поблизу сопла. Також задається час для таймера та симуляційні значення для датчиків. При переході до наступного кроку (step = 3) відбувається перевірка чи активний гідроциліндр. При умові, якщо він активний задається симуляційне значення для тензодатчику (MoldClosing_S_pressure_position), що сповіщує про щільне прилягання форми до сопла. На рисунку 3.10 зображено подальший фрагмент програми для симулювання процесу впорскування розплаву, за що відповідає ще один гідроциліндр.

```

4:
IF MoldClosing_Hydraulic_cylinder = TRUE AND MoldClosing_S_pressure_position = 100 THEN
    Melting_clutch := FALSE;
    Melting_worm_motor := FALSE;
    Injection_hydraulic_cylinder := TRUE;
    MoldClosing_S_temp_mold := 50;

    Timer(IN := TRUE, PT := T#2S);

    Injection_S_temp_motor := 40; (*градусів*)
    Injection_S_speed_motor := 1400; (*об/хв*)
    Injection_S_pressure := 450; (*бар*)

    IF Timer.Q THEN
        Timer(IN := FALSE);
        step := 5;
    END_IF;
END_IF;

```

Рисунок 3.10. Фрагмент програми для симуляції впорскування пластику в прес-форму.

Отож на даному кроці (step = 4), при умові, що гідроциліндр MoldClosing_Hydraulic_cylinder активний і тензодатчик MoldClosing_S_pressure_position достатньо зреагував і підтвердив цільність прилягання прес-форми до сопла (тобто MoldClosing_S_pressure_position = 100), вимикається муфта (Melting_clutch) та електродвигун (Melting_worm_motor), що зупиняє шнек і від'єднує його від мотору. Тепер вмикається наступний гідроциліндр (Injection_hydraulic_cylinder). Він проштовхує шнек вперед вичавлюючи розплав в порожнину прес-форми. Знову задається таймерний час та симуляційні значення для сенсорів. Далі, на рисунку 3.11 зображено фрагмент програми для відкриття прес-форми й викидання виробу.

6:

```

IF MoldClosing_S_temp_mold = MOLD_TEMP THEN
    Injection_hydraulic_cylinder := FALSE;
    MoldClosing_Hydraulic_cylinder := FALSE;

    MoldOpening_Hydraulic_cylinder := TRUE;

    Timer(IN := TRUE, PT := T#2S);

    MoldOpening_S_temp_motor := 40; (*градусів*)
    MoldOpening_S_speed_motor := 1200; (*об/хв*)
    MoldOpening_S_pressure := 100; (*бар*)
    MoldOpening_S_pressure_position := 100; (*процентів*)

    IF Timer.Q THEN
        Timer(IN := FALSE);
        step := 7;
    END_IF;
END_IF;

```

Рисунок 3.11. Фрагмент програми для симуляції гідроциліндру, що відкриває прес-форму.

Ми пропустили один крок роботи програми (step = 5), так як він відповідає за систему охолодження і його буде розглянуто трішки згодом в контексті відповідного вузла системи. А щодо даного фрагменту то умовою запуску даного коду є температура датчика прес-форми (MoldClosing_S_temp_mold). Коли вона дорівнює строго заданому температурному ліміту (MOLD_TEMP), що свідчить про достатнє охолодження виробу, то вимикаються гідроциліндри, що відповідають за впорскування (Injection_hydraulic_cylinder) та закриття прес-форми (MoldClosing_Hydraulic_cylinder) і активується MoldOpening_Hydraulic_cylinder, який відчинятиме форму, в зв'язку з чим виріб випадатиме. Також як зазвичай, задається таймерний час, симуляційні параметри сенсорів.

На рисунку 3.12. наведено фрагмент програми для симуляції безпечного регулювання параметрів усіх гідросистем.

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		50

```

(*ПЕРЕВІРКА СИСТЕМИ*)
IF Melting_S_temp_motor > 60 OR MoldClosing_S_temp_motor > 60 OR Injection_S_temp_motor > 60 OR MoldOpening_S_temp_motor > 60 THEN
    ERROR_LAMP := TRUE;
END_IF

(*АВАРІЙНЕ ВИМКНЕННЯ СИСТЕМИ*)
IF Melting_S_temp_motor > 80 OR MoldClosing_S_temp_motor > 80 OR Injection_S_temp_motor > 80 OR MoldOpening_S_temp_motor > 80 THEN
    STOP_auto := TRUE;
END_IF

```

Рисунок 3.12. Фрагмент програми для симуляції регулювання гідроциліндрів.

Ці умовні оператори спрацювують кожної ітерації циклу, та перевіряють температуру двигунів, що приводять в дію всі гідросистеми. Коли хоча б один двигун перегріється вище 60 градусів за шкалою Цельсія, тоді загориться попереджувальна лампа (ERROR_LAMP). Коли ж температура перевищить 80 градусів, тоді відбувається аварійна зупинка всієї системи (STOP_auto). На рисунку 3.13 зображено код, що відповідає за вимкнення всіх вузлів.

```

(*Зупинка системи*)
IF STOP_hand THEN
    STOP_auto := FALSE;

    Melting_clutch := FALSE;
    Melting_worm_motor := FALSE;
    Melting_heaters := FALSE;

    MoldClosing_Hydraulic_cylinder := FALSE;
    MoldClosing_cooler := FALSE;
    MoldClosing_heaters_mold := FALSE;

    Injection_hydraulic_cylinder := FALSE;
    MoldOpening_Hydraulic_cylinder := FALSE;
    step := 0;
END_IF;

IF STOP_auto THEN
    Melting_clutch := FALSE;
    Melting_worm_motor := FALSE;
    Melting_heaters := FALSE;

    MoldClosing_Hydraulic_cylinder := FALSE;
    MoldClosing_cooler := FALSE;
    MoldClosing_heaters_mold := FALSE;

    Injection_hydraulic_cylinder := FALSE;
    MoldOpening_Hydraulic_cylinder := FALSE;
    step := 0;
END_IF;

```

Рисунок 3.13. Фрагмент програми для аварійного вимкнення.

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		51

STOP_auto це автоматична зупинка системи, що активується умовними операторами, що здійснюють перевірку. А STOP_hand це ручна зупинка, що здійснюється оператором, яка також скидає значення автоматичної зупинки (STOP_auto := FALSE) передаючи контроль в руки людині.

3.6. Система охолодження та прес-форма.

На рисунку 3.14. зображено схему взаємодії основних компонентів системи охолодження з ПЛК.

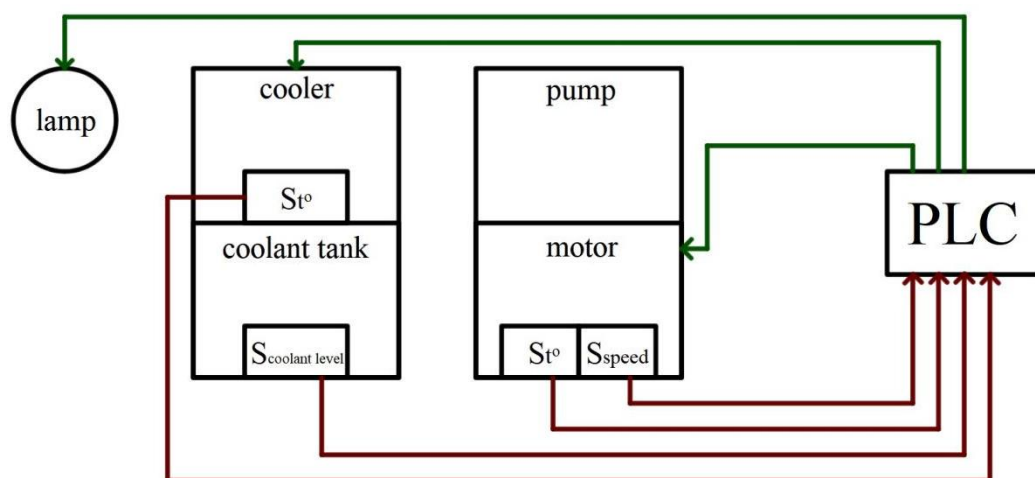


Рисунок 3.14. Схема взаємодії основних компонентів системи охолодження з ПЛК.

Дана система включає електродвигун, що приводить в дію насос, який прокачує охоложену охолоджувачем спеціальну рідину з резервуару. Також в ній наявні сенсори для відслідковування різних параметрів. А на рисунку 3.15. наведено схему взаємодії основних компонентів прес-форми з ПЛК.

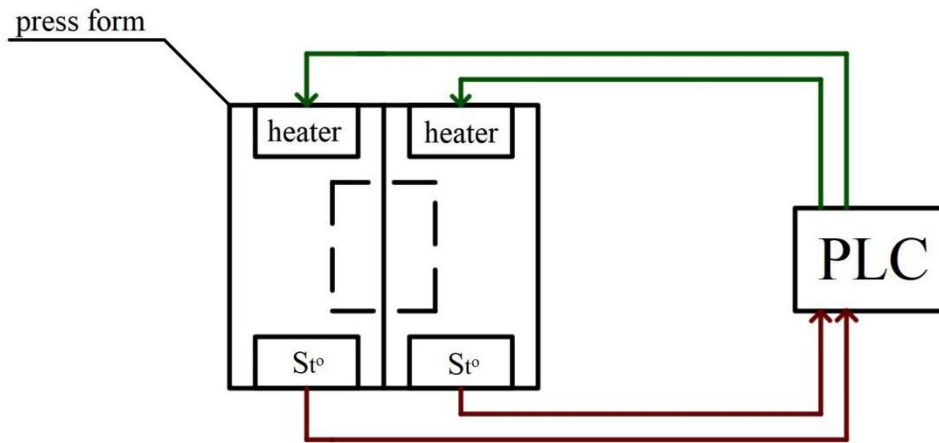


Рисунок 3.15. Схема взаємодії основних компонентів прес-форми з ПЛК.

Прес-форма має спеціально розміщені канали для ефективного протікання охолоджувальної рідини, а також і нагрівачі, щоб задати формі ідеальної температури для витримування в ній виробу.

Під час виконання step 5 оператору case не відбувається нічого надто цікавого. Лише задання таймерного часу та значення для датчика температури прес-форми (що симулює процес охолодження). На рисунку 3.16. наведено фрагмент програми для симуляції регулювання системи охолодження.

```

(*регулювання температури прес-форми*)
IF MoldClosing_S_temp_mold > MOLD_TEMP THEN
    MoldClosing_heaters_mold := FALSE;
    MoldClosing_cooler := TRUE;
END_IF;
IF MoldClosing_S_temp_mold < MOLD_TEMP THEN
    MoldClosing_heaters_mold := TRUE;
    MoldClosing_cooler := FALSE;
END_IF;
IF MoldClosing_S_temp_mold = MOLD_TEMP THEN
    MoldClosing_heaters_mold := FALSE;
    MoldClosing_cooler := FALSE;
END_IF;
  
```

Рисунок 3.16. Фрагмент програми для симуляції регулювання системи охолодження.

Якщо температура вища ніж MOLD_TEMP, тоді вимикаємо нагрівачі та вмикаємо охолоджувач, якщо нижча, тоді робимо все навпаки. А коли температура точно така як потрібно, тоді вимикаємо і нагрівач, і охолоджувач. Після цього переходимо до відкриття прес-форми, що розглядалось дещо раніше.

3.7. Симуляція роботи програми.

Інтерфейс системи має три кнопки та десять ламп, що сигналізують про протікання роботи системи. На рисунку 3.17 зображено вигляд панелі керування на етапі плавлення та гомогенізації.

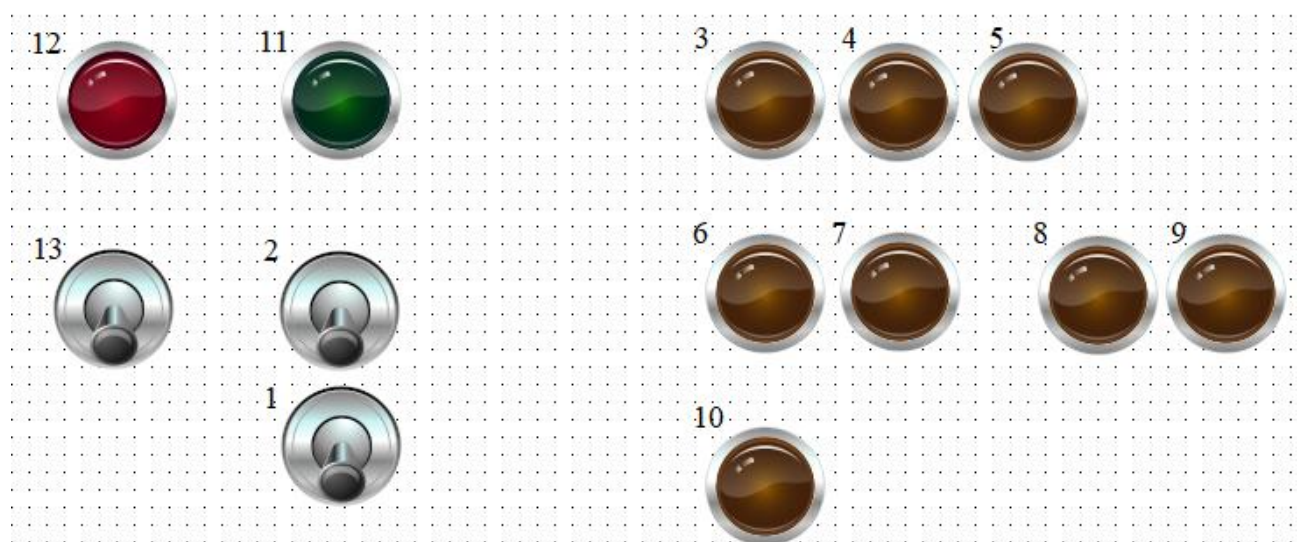


Рисунок 3.17. Вигляд панелі керування в середовищі codesys:

1 - кнопка подавання живлення (положення вниз - вимк., положення вверху - увімк.), 2 - кнопка увімкнення системи, 3 - лампа, що симулює роботу муфти, 4 - лампа, що симулює роботу шнекового двигуна, 5 - лампа, що симулює роботу нагрівачів робочого циліндра, 6 - лампа, що симулює роботу гідроциліндра для закриття прес-форми, підведення її до сопла та відведення шнеку назад, для акумулювання розплаву, 7 - лампа, що симулює роботу гідроциліндра інжекції, 8 - лампа, що симулює роботу охолоджувача прес-форми, 9 - лампа, що симулює роботу нагрівача прес-форми, 10 - лампа, що

симулює роботу гідроциліндра для відкривання прес-форми, 11 - лампа, що сповіщує про успішне завершення циклу, 12 - лампа для сповіщення про помилки, 13 - перемикач для ручної аварійної зупинки системи.

На рисунку 3.18 зображено вигляд панелі керування на етапі закриття прес-форми.

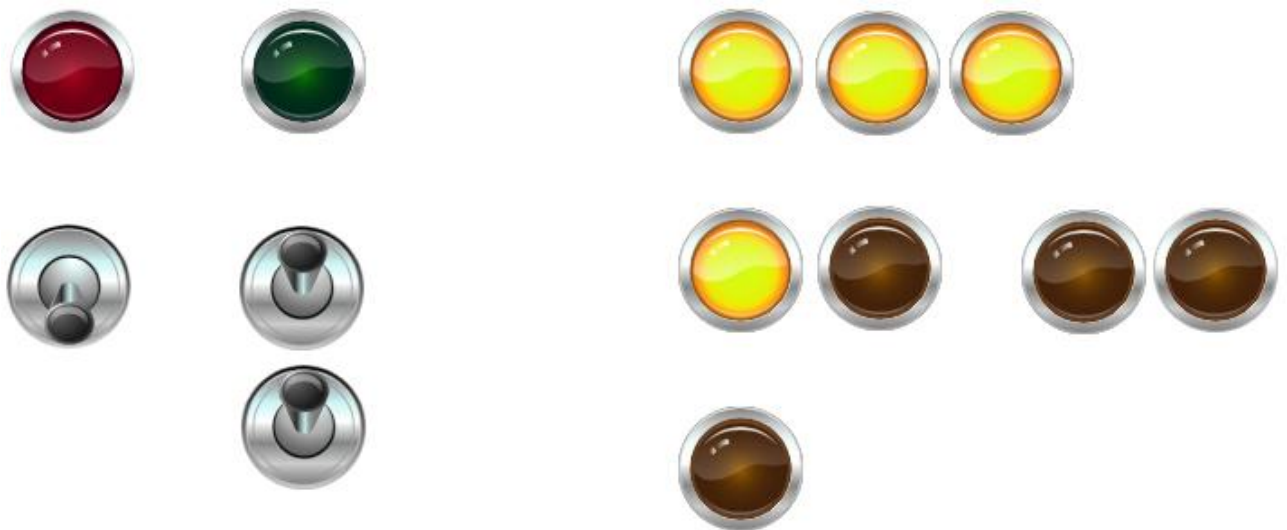
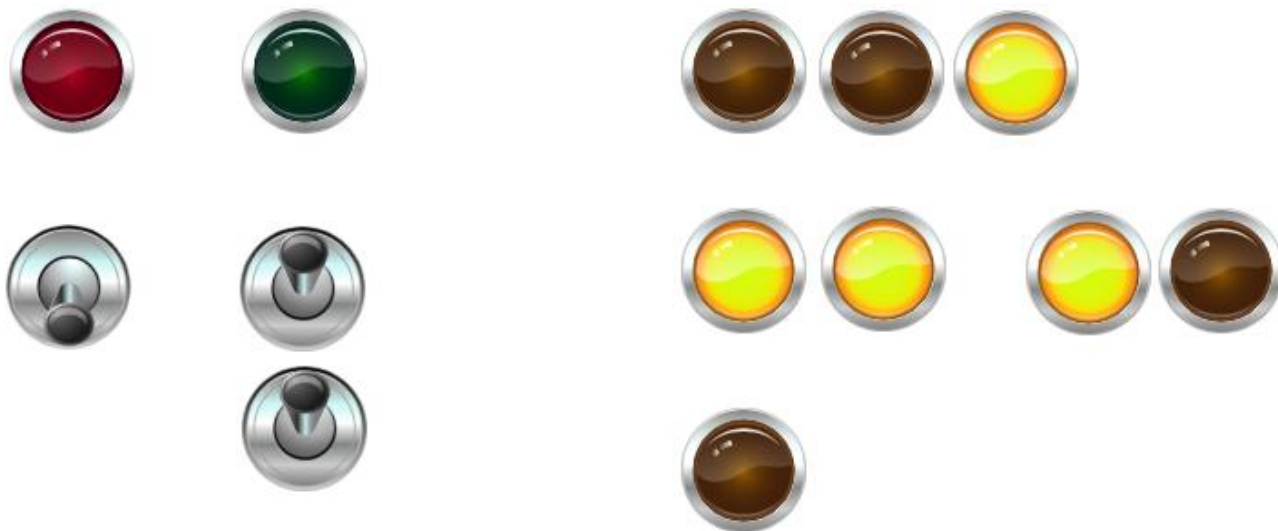


Рисунок 3.18. Вигляд панелі керування на етапі закриття прес-форми.

Як бачимо - перемикачі для подачі живлення та увімкнення системи в верхньому положенні. Також муфта, шнековий двигун, нагрівачі робочого циліндра та гідроциліндр замикання активні, що свідчить про підготовку системи до впорскування. На рисунку 3. 19. зображено вигляд панелі керування на етапі впорскування.



На рисунку 3.19 зображено вигляд панелі керування на етапі впорскування розплаву.

На даному рисунку видно, що муфта й шнековий двигун вимкнулись, натомість увімкнулись гідроциліндр для забезпечення впорскування розплаву та охолоджувач прес-форми.

На рисунку 3.20. зображено вигляд панелі керування на етапі завершення циклу лиття (тоді всі вузли вимикаються і світиться відповідний індикатор).



Рисунок 3.20. Вигляд панелі керування на етапі завершення роботи.

На рисунку 3.21. зображено вигляд панелі керування після аварійного вимкнення системи оператором.



Рисунк 3.21. Вигляд панелі керування після аварійного ручного вимкнення системи.

На даному рисунку видно, що всі вузли вимкнені і системи “стоїть”, навіть при активний положеннях вимикачів живлення та активації.

На рисунку 2.22. зображено вигляд панелі керування під час попередження про зависоку температуру одного з двигунів системи.



Рисунк 3.22. Вигляд панелі керування під час сповіщення про перегрівтя одного з вузлів.

ВИСНОВКИ

Враховуючи те, що ми щодня безліч разів взаємодіємо з, різного роду, пластиковими виробами, можна ствердити, що розвиток у виробництві полімерної продукції є досить актуальним. Звичайно, подібна діяльність, несе шкоду планеті та її мешканцям, проте вдосконалюючи наявні системи, роблячи їх більш енергоефективними та універсальними, адаптуючи їх до преробки використаних матеріалів та відкриваючи нові види сполук, що більш дружні до навколишнього середовища можна зберегти матеріали з дуже корисними властивостями, не завдаючи собі й іншим такої великої шкоди.

В даній випускній кваліфікаційній роботі за темою “Розроблення автоматизованої системи для лиття пластику під тиском” було детально розглянуто різні типи та сімейства полімерних матеріалів, види, техніки та способи виробництва. Також було проведено аналіз та огляд етапів роботи системи для лиття пластику під тиском, а також основних вузлів термопластавтомата. Було проведено наведено приклади реального обладнання та запропоновано різного роду схематичні зображення. В даній роботі теж було проведено декомпозицію процесу лиття пластику під тиском та подано структурні й функціональні схеми, що ілюструють послідовність етапів, основні вузли системи та їх взаємодію. Використовуючи середовище програмування та візуалізації CODESYS створено програму для симуляції роботи термопластавтомата. Наведено багато рисунків з фрагментами програми, а також з результатами візуалізації її роботи. Наведено кілька варіантів станів системи, зокрема: під час завершення роботи, під час аварійної зупинки та під час автоматичного сповіщення про помилку.

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		58

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пластмаси. *Bikinedia*. Режим доступу:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BC%D0%B0%D1%81%D0%B8>
2. Полімери. *Bikinedia*. Режим доступу:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%96%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B8>
3. Вуглепластик. *Bikinedia*. Режим доступу:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%83%D0%B3%D0%BB%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA>
4. Маркування для ПЕТ-пластику [Електронний ресурс] : [зображення].
 Автор: Bhutajata. *Wikimedia Commons*. Ліцензія CC0. Режим доступу:
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=57336668>
5. Plastic. *Wikipedia*. Режим доступу: <https://en.wikipedia.org/wiki/Plastic>
6. Spinning (polymers). *Wikipedia*. Режим доступу:
[https://en.wikipedia.org/wiki/Spinning_\(polymers\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Spinning_(polymers))
7. Spinneret (polymers). *Wikipedia*. Режим доступу:
[https://en.wikipedia.org/wiki/Spinneret_\(polymers\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Spinneret_(polymers))
8. Коагуляція (хімія). *Bikinedia*. Режим доступу:
[https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%B0%D0%B3%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D1%96%D1%8F_\(%D1%85%D1%96%D0%BC%D1%96%D1%8F\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%B0%D0%B3%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D1%96%D1%8F_(%D1%85%D1%96%D0%BC%D1%96%D1%8F))
9. Electrospinning. *Wikipedia*. Режим доступу:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Electrospinning>
10. Gelation. *Wikipedia*. Режим доступу:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Gelation>
11. Ultra-high-molecular-weight polyethylene. *Wikipedia*. Режим доступу:
https://en.wikipedia.org/wiki/Ultra-high-molecular-weight_polyethylene

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		59

12. Екстрагування. *Bikinedia*. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BA%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%B3%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F>
13. Drawing (manufacturing). *Wikipedia*. Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Drawing_\(manufacturing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Drawing_(manufacturing))
14. Blow molding. *Wikipedia*. Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Blow_molding
15. Rotational molding. *Wikipedia*. Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Rotational_molding
16. Centrifugal casting (industrial). *Wikipedia*. Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Centrifugal_casting_\(industrial\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Centrifugal_casting_(industrial))
17. 3D-принтер. *Bikinedia*. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/3D-%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80>
18. 3D-принтер та виготовлений ним виріб [Електронний ресурс] : [зображення]. Автор: Vexma Tech. *Pixabay*. Режим доступу: <https://pixabay.com/photos/pla-filament-3d-printer-plastic-8518439/>
19. 3D принтер. *Bikinedia*. Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/3D-%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80>
20. Film blowing machine. *Wikipedia*. Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Film_blowing_machine
21. Casting. *Wikipedia*. Режим доступу: <https://en.wikipedia.org/wiki/Casting>
22. Як вибрати технологію виробництва пластикових виробів: порівняння методів. *Klona*. Режим доступу: <https://klona.ua/uk/blog/foundry-uk/yak-vybraty-tehnologiyu-vyrobnyctva-pl>
23. Thermosetting polymer. *Wikipedia*. Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermosetting_polymer
24. Cross-link. *Wikipedia*. Режим доступу: <https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-link>
25. Resin casting. *Wikipedia*. Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Resin_casting

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		60

26. Лиття пластиків під тиском. *Bikinedia*. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D1%82%D1%82%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D1%96%D0%B2_%D0%BF%D1%96%D0%B4_%D1%82%D0%B8%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BC

27. Види пресс-форм. *Klona*. Режим доступу: <https://klona.ua/blog/liteynoe-proizvodstvo/vidy-press-form>

28. Прес-форма. *Bikinedia*. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D1%81-%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0>

29. Injection moulding. *Wikipedia*. Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Injection_moulding#cite_note-IMhand3-19

30. Термопластавтомат. *Bikinedia*. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82>

31. Конструкція для точного та надійного змикання, розмикання та стискання прес-форми [Електронний ресурс] : [зображення]. Автор оригіналу: Glenn McKechnie. *Wikimedia Commons*. Ліцензія CC BY-SA 2.5. Режим доступу: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=304928> (Зображення редаговане автором даної випускної кваліфікаційної роботи).

32. Ливникова система. *Bikinedia*. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0

33. Electrical discharge machining. *Wikipedia*. Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_discharge_machining

34. Технологія пресування [Електронний ресурс] : [зображення]. Автор: LaurensvanLieshout. *Wikimedia Commons*. Ліцензія CC BY-SA 3.0. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D1%81->

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		61

[%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0#/media/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Wet_compression_moulding.png](#)

35. Технологія лиття в прес-форму [Електронний ресурс] : [зображення]. Автор: LaurensvanLieshout. *Wikimedia Commons*. Ліцензія Public Domain. Режим доступу: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1780790>

36. Рогожинський Ю. В. *Лінія для виробництва пластикових деталей для автомобілів з модернізацією термопластавтомата*: магістерська дисертація. Київ : Національний технічний університет України «Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського», 2020. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/47841cf2-83e9-4bfe-a5b1-68cf2c0cebea/content>

37. Термопластавтомат: конструкції, типи, особливості, нагрівачі для ТПА. *TEN 24*. Режим доступу: <https://ten24.com.ua/ua/blog/termoplastavtomat-konstruktsii-tipy-osobennosti-nagrevateli-dlya-tpa/>

38. Термопластавтомат для одночасного лиття виробів з двох видів матеріалів [Електронний ресурс] : [зображення]. Автор оригіналу: Сjp24. *Wikimedia Commons*. Ліцензія CC BY-SA 3.0. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82#/media/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Bi_material_molding_machine.jpg (Зображення редаговане автором даної випускної кваліфікаційної роботи).

39. Бункер (ємність). *Вікіпедія*. Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%83%D0%BD%D0%BA%D0%B5%D1%80_\(%D1%94%D0%BC%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%83%D0%BD%D0%BA%D0%B5%D1%80_(%D1%94%D0%BC%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C)

40. Steel. *Wikipedia*. Режим доступу: <https://en.wikipedia.org/wiki/Steel>

41. Stainless steel. *Wikipedia*. Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Stainless_steel

42. Electric motor. *Wikipedia*. Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_motor

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		62

43. Черв'ячний мотор-редуктор NMRV 050, 45 Н.м. *Техно-привід*. Режим доступу: <https://techno-privod.com.ua/production/cherv-iyachnyj-reduktor-nmrv-050/>

44. Момент сили. *Вікіпедія*. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%81%D0%B8%D0%BB%D0%B8>

45. Ньютон. *Вікіпедія*. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%BE%D0%BD>

46. Метр. *Вікіпедія*. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D1%80>

47. Черв'ячний мотор-редуктор CMRV 030 [Електронний ресурс] : [зображення]. *Техно-привід*. Режим доступу: https://techno-privod.com.ua/wp-content/uploads/2024/12/cmrv-nmrv-reduttori_optimized-1.png

48. Гідроциліндр. *Вікіпедія*. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%96%D0%B4%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B8%D0%BB%D1%96%D0%BD%D0%B4%D1%80>

49. Технічне керівництво по гідравлічних (підйомних) інструментах. *Holmatro*. Режим доступу: <https://www.holmatro.com/en/industrial/hydraulic-cylinders>

50. Гомогенізація середовищ. *Вікіпедія*. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D1%96%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F_%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%89

51. Муфта. *Вікіпедія*. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%83%D1%84%D1%82%D0%B0>

52. Understanding Injection Pressure in Injection Molding. *Jiangzhi*. Режим доступу: <https://www.swcpu.com/blog/injection-pressure-in-injection-molding/>

53. Thermoplastic Injection Molding: Definition, Process & Materials. *3ERP*. Режим доступу: <https://www.3erp.com/blog/thermoplastic-injection-molding-definition-process-materials/>

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		63

54. Injection Molding Parameters. *3ERP*. Режим доступу: <https://www.3erp.com/blog/injection-molding-parameters/>

55. The Selection Principle Of Injection Speed For Plastic Parts. *Prototool*. Режим доступу: <https://prototool.com/injection-speed/>

56. Важливість швидкості впорскування в машині для лиття під тиском. *KB DELTA*. Режим доступу: <https://kdelta.com/blog/importance-injection-speed-injection-molding-machine/>

57. Understanding Injection Speed and Injection Pressure. *FIRST MOLD*. Режим доступу: <https://firstmold.com/guides/injection-speed-and-injection-pressure/>

58. How to select the right injection speed for a hydraulic injection molding machine?. *TOPSTAR*. Режим доступу: <https://www.topstarmachine.com/how-to-select-the-right-injection-speed-for-a-hydraulic-injection-molding-machine/>

59. Multi Purpose Cylinder HGC 75 S 15. *Holmatro*. Режим доступу: <https://www.holmatro.com/en/industrial/multi-purpose-cylinder-hgc-75-s-15>

60. R, RG - Radial piston pumps, Pump elements. *HAWE Hydraulik*. Режим доступу: <https://www.hawe.com/products/product-finder/pumps/radial+piston+pumps/r+-+radial+piston+pumps+pump+elements/?cHash=ebddb12b66513feee4c82d8a22e7d1a2>

61. R, RG - Radial piston pumps, Pump elements. *HAWE Hydraulik*. Режим доступу: <https://productfinder.hawe.com/downloads/D6010-en.pdf>

62. Radial piston pumps type R and RG. *HAWE Hydraulik*. Режим доступу: https://storage.ua.prom.st/937341_radialno_porsh_tip_r_i_rg.pdf

63. Серводвигуни SIMOTICS S-1FT7. *Siemens*. Режим доступу: <https://www.siemens.com/global/en/products/drives/electric-motors/motion-control-motors/simotics-s/simotics-s-1ft7.html>

64. Зчеплення (механіка). *Вікіпедія*. Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D1%87%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_\(%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D1%87%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_(%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0)

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		64

65. Фрикційна муфта. *Вікіпедія*. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%80%D0%B8%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B0_%D0%BC%D1%83%D1%84%D1%82%D0%B0

66. Кулачкова муфта. *Вікіпедія*. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%83%D0%BB%D0%B0%D1%87%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D0%BC%D1%83%D1%84%D1%82%D0%B0

67. Ярослав Герасимчук. *Фрикційна муфта своїми руками*. YouTube. Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=B-uPr3d1JWA&t=97s>

68. Електромагнітна муфта. *Вікіпедія*. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BD%D0%B0_%D0%BC%D1%83%D1%84%D1%82%D0%B0

69. Коефіцієнт тертя. *Вікіпедія*. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%B5%D1%84%D1%96%D1%86%D1%96%D1%94%D0%BD%D1%82_%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%82%D1%8F

70. Деталі машин Підручник. Частина 2. Підрозділ 2.6. Фрикційні передачі та варіатори. Пункт 2.6.6. Розрахунки фрикційних передач. *Луцький національний технічний університет*. Режим доступу: https://e-tk.lntu.edu.ua/pluginfile.php/17192/mod_resource/content/1/%D0%94%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%96%20%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%20%D0%9F%D1%96%D0%B4%D1%80%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA.%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B0%202.pdf

71. Контактна електромагнітна муфта ЕТМ-122. *ТОВ "ТК ПРОМЕЛ"*. Режим доступу: <https://profmaster.com.ua/ua/p1055568711-etm-122-mufta.html>

72. Контактна електромагнітна муфта ЕТМ-122 [Електронний ресурс] : [зображення]. *ТОВ "ТК ПРОМЕЛ"*. Режим доступу:

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		65

https://images.prom.ua/3337031604_w640_h640_etm-122-elektromagnitna-mufta.jpg

73. Манометр.

Bikinedia.

Режим

доступу:

<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80>

74. Манометр надвисокого тиску СВ-2500. *Укрпромцентр ЛТД. PROM.* Режим доступу: https://prom.ua/ua/p1206540863-manometry-sverhvyssokogo-davleniya.html?utm_source=google_product&utm_medium=cpc&utm_content=pla&utm_campaign=KT_cpc_1_5297199152&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwxdXBBhDEARIsAAUkP6hzMGPkeMGNH_hoHLU_UZ5DIDkP7itQE1ccBrIAOcAEFqib1RLT8OJEaAoENEALw_wcB

75. Манометр надвисокого тиску СВ-2500 ТОВ "Укрпромцентр ЛТД" [Електронний ресурс] : [зображення]. *PROM.* Режим доступу: https://images.prom.ua/2455409699_w640_h640_manometry-sverhvyssokogo-davleniya.jpg

76. 33X High Accuracy Digital Output Pressure Sensor. *Sensors ONE.* Режим доступу: https://www.sensorsone.com/33x-high-accuracy-digital-output-pressure-sensor/?utm_source=chatgpt.com

77. Схема робочого циліндра та основних етапів його роботи [Електронний ресурс] : [зображення]. Автор оригіналу: Cdang, Brendan Rockey, University of Alberta Industrial Design. *Wikimedia Commons.* Ліцензія CC BY-SA 3.0. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D1%82%D1%82%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D1%96%D0%B2_%D0%BF%D1%96%D0%B4_%D1%82%D0%B8%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BC#/media/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Principe_moulage_injection_polymere.svg (Зображення редаговане автором даної дипломної роботи).

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		66

78. Шнек. *Bikinedia*. Режим доступу:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%BD%D0%B5%D0%BA>

79. Archimedes screw. *Wikipedia*. Режим доступу:
https://en.wikipedia.org/wiki/Archimedes%27_screw

80. Сівецький В. І., Куриленко В. М., Мікульонок І. О., Сокольський О. Л., Поліщук А. С. Модернізація машини для лиття під тиском. *Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»*. Режим доступу: https://cpsm.kpi.ua/nauka/konf/sivetskiy_6_konf_2015_1.pdf

81. Станина. *Bikinedia*. Режим доступу:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BD%D0%B0>

82. Керамічний кільцевий нагрівач (хомутовий нагрівальний елемент). *TEN* 24. Режим доступу: <https://ten24.com.ua/ua/catalog/kolcevye-nagrevateli/keramicheskiy/>

83. Керамічний кільцевий нагрівач [Електронний ресурс] : [зображення]. *TEN* 24. Режим доступу: https://ten24.com.ua/upload/iblock/5a0/nnf6tdh2f24qcpotkekzqm7201jp6nz3/kolmica_14_11_021.jpg

84. RS PRO 6212417 Thermocouple Type K 6.5 in (165mm) 1292F (700C) Max 316L Stainless Steel. *RS*. Режим доступу: https://co.rs-online.com/product/rs-pro/6212417/70646481/?utm_source=chatgpt.com

85. Shut-off nozzle. *Wikipedia*. Режим доступу:
https://en.wikipedia.org/wiki/Shut-off_nozzle

86. Рисунки [Електронний ресурс] : [зображення]. Автор: Mtsunny. *Wikimedia Commons*. Ліцензія CC BY-SA 3.0. Режим доступу:
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=27473959>

87. Датчик температури Термопара K-type M10 екранований 2м пружин. *eFOX, Prom*. Режим доступу: https://prom.ua/ua/p1383911415-datchik-temperature-termopara.html?utm_source=chatgpt.com

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		67

88. Сопло.

Bikinedia.

Режим

доступу:

<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%BE>

89. Рисунок 2.10. Ву Mtsunny [Електронний ресурс] : [зображення].

Wikimedia Commons. Ліцензія CC BY-SA 3.0. Режим доступу:

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=27473959>

90. *Grundfos.* Режим доступу: <https://product-selection.grundfos.com/ua>

91. *TEYU S&A.* Режим доступу: <https://www.teyuchiller.com/>

92. ПЛК Maple Systems cMT-CTRL01. *Maple Systems.* Режим доступу:

<https://maplesystems.com/product/modelname/cmt-ctrl01/>

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		68

ДОДАТКИ

Додаток А

Код програми для симуляції роботи термопластавтомата

PROGRAM PLC_PRG

VAR

MOLD_TEMP : INT;

Timer : TON;

step : INT := 0;

TURN_ON_SYSTEM : BOOL;

start_button : BOOL;

STOP_auto : BOOL;

STOP_hand : BOOL;

DONE_LAMP : BOOL;

ERROR_LAMP : BOOL;

ERROR_LAMP_coolant : BOOL;

S_plastic : BOOL;

(*Змінні для етапу плавлення*)

Melting_clutch : BOOL;

Melting_worm_motor : BOOL;

Melting_heaters : BOOL;

Melting_S_temp_motor : INT;

Melting_S_speed_motor : INT;

Melting_S_temp_plastic1 : INT;

Melting_S_temp_plastic2 : INT;

(*Змінні для етапу замикання прес-форми*)

MoldClosing_Hydraulic_cylinder : BOOL;

MoldClosing_cooler : BOOL;

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		69

MoldClosing_heaters_mold : BOOL;

MoldClosing_S_temp_motor : INT;

MoldClosing_S_speed_motor : INT;

MoldClosing_S_pressure : INT;

MoldClosing_S_coolant_level : INT;

MoldClosing_S_pressure_position : INT;

MoldClosing_S_temp_mold : INT;

(*Змінні для етапу інжекції*)

Injection_hydraulic_cylinder : BOOL;

Injection_S_temp_motor : INT;

Injection_S_speed_motor : INT;

Injection_S_pressure : INT;

(*Змінні для етапу розкриття прес-форми*)

MoldOpening_Hydraulic_cylinder : BOOL;

MoldOpening_S_temp_motor : INT;

MoldOpening_S_speed_motor : INT;

MoldOpening_S_pressure : INT;

MoldOpening_S_pressure_position : INT;

END_VAR

MOLD_TEMP := 10;

step := 0;

S_plastic := TRUE; (*Сенсор наявності матеріалу в бункері*)

MoldClosing_S_coolant_level := 70; (*Сенсор наявності охолоджувальної рідини в резервуарі*)

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Melting_S_temp_plastic1 := 20;(*градусів*)

Melting_S_temp_plastic2 := 20;(*градусів*)

WHILE TURN_ON_SYSTEM DO

CASE step OF

0:

DONE_LAMP := FALSE;

IF STOP_hand = FALSE AND STOP_auto = FALSE AND S_plastic
AND start_button THEN

Melting_clutch := TRUE;

Timer(IN := TRUE, PT := T#1S);

IF Timer.Q THEN

Timer(IN := FALSE);

step := 1;

END_IF;

END_IF;

1:

IF Melting_clutch THEN

Melting_worm_motor := TRUE;

Timer(IN := TRUE, PT := T#2S);

(*Задаємо значення сенсорів самі*)

Melting_S_temp_motor := 40; (*градусів*)

Melting_S_speed_motor := 1200;(*об/хв*)

Melting_S_temp_plastic1 := 150;(*градусів*)

Melting_S_temp_plastic2 := 132;(*градусів*)

IF Timer.Q THEN

Timer(IN := FALSE);

step := 2;

END_IF;

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		71

END_IF;

2:

IF Melting_S_temp_plastic1 > 130 AND Melting_S_temp_plastic2 > 130

THEN

MoldClosing_Hydraulic_cylinder := TRUE;

Timer(IN := TRUE, PT := T#2S);

(*Значення сенсорів:*)

MoldClosing_S_temp_motor := 70; (*градусів*)

MoldClosing_S_speed_motor := 1400; (*об/хв*)

MoldClosing_S_pressure := 800; (*бар*)

IF Timer.Q THEN

Timer(IN := FALSE);

step := 3;

END_IF;

END_IF;

3:

IF MoldClosing_Hydraulic_cylinder THEN

MoldClosing_S_pressure_position := 100; (*процентів*)

step := 4;

END_IF;

4:

IF MoldClosing_Hydraulic_cylinder = TRUE AND
MoldClosing_S_pressure_position = 100 THEN

Melting_clutch := FALSE;

Melting_worm_motor := FALSE;

Injection_hydraulic_cylinder := TRUE;

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

MoldClosing_S_temp_mold := 50;

Timer(IN := TRUE, PT := T#2S);

Injection_S_temp_motor := 40; (*градусів*)

Injection_S_speed_motor := 1400; (*об/хв*)

Injection_S_pressure := 450; (*бар*)

IF Timer.Q THEN

Timer(IN := FALSE);

step := 5;

END_IF;

END_IF;

5:

IF Injection_hydraulic_cylinder THEN

Timer(IN := TRUE, PT := T#2S);

MoldClosing_S_temp_mold := MOLD_TEMP;

IF Timer.Q THEN

Timer(IN := FALSE);

step := 6;

END_IF;

END_IF;

6:

IF MoldClosing_S_temp_mold = MOLD_TEMP THEN

Injection_hydraulic_cylinder := FALSE;

MoldClosing_Hydraulic_cylinder := FALSE;

MoldOpening_Hydraulic_cylinder := TRUE;

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Timer(IN := TRUE, PT := T#2S);

MoldOpening_S_temp_motor := 40; (*градусів*)

MoldOpening_S_speed_motor := 1200; (*об/хв*)

MoldOpening_S_pressure := 100; (*бар*)

MoldOpening_S_pressure_position := 100; (*процентів*)

IF Timer.Q THEN

Timer(IN := FALSE);

step := 7;

END_IF;

END_IF;

7:

IF MoldOpening_S_pressure_position = 100 THEN

DONE_LAMP := TRUE;

Melting_clutch := FALSE;

Melting_worm_motor := FALSE;

Melting_heaters := FALSE;

MoldClosing_Hydraulic_cylinder := FALSE;

MoldClosing_cooler := FALSE;

MoldClosing_heaters_mold := FALSE;

Injection_hydraulic_cylinder := FALSE;

MoldOpening_Hydraulic_cylinder := FALSE;

Timer(IN := TRUE, PT := T#2S);

IF Timer.Q THEN

Timer(IN := FALSE);

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

```

        step := 0;
    END_IF;
END_IF;
END_CASE;

(*Зупинка системи*)
IF STOP_hand THEN
    STOP_auto := FALSE;

    Melting_clutch := FALSE;
    Melting_worm_motor := FALSE;
    Melting_heaters := FALSE;

    MoldClosing_Hydraulic_cylinder := FALSE;
    MoldClosing_cooler := FALSE;
    MoldClosing_heaters_mold := FALSE;

    Injection_hydraulic_cylinder := FALSE;
    MoldOpening_Hydraulic_cylinder := FALSE;
    step := 0;
END_IF;

IF STOP_auto THEN
    Melting_clutch := FALSE;
    Melting_worm_motor := FALSE;
    Melting_heaters := FALSE;

    MoldClosing_Hydraulic_cylinder := FALSE;
    MoldClosing_cooler := FALSE;
    MoldClosing_heaters_mold := FALSE;

    Injection_hydraulic_cylinder := FALSE;

```

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

```

MoldOpening_Hydraulic_cylinder := FALSE;
step := 0;
END_IF;

```

(*ПЕРЕВІРКА СИСТЕМИ*)

```

IF Melting_S_temp_motor > 60 OR MoldClosing_S_temp_motor > 60 OR
Injection_S_temp_motor > 60 OR MoldOpening_S_temp_motor > 60 THEN
    ERROR_LAMP := TRUE;
END_IF

```

(*АВАРІЙНЕ ВИМКНЕННЯ СИСТЕМИ*)

```

IF Melting_S_temp_motor > 80 OR MoldClosing_S_temp_motor > 80 OR
Injection_S_temp_motor > 80 OR MoldOpening_S_temp_motor > 80 THEN
    STOP_auto := TRUE;
END_IF

```

(*ПЕРЕВІРКА ОХОЛОДЖУВАЧА*)

```

IF MoldClosing_S_coolant_level < 20 THEN
    ERROR_LAMP_coolant := TRUE;
ELSE
    ERROR_LAMP_coolant := FALSE;
END_IF;

```

(*САМОРЕГУЛЮВАННЯ СИСТЕМИ*)

```

IF STOP_auto = FALSE AND STOP_hand = FALSE THEN

```

(*ПЕРЕВІРКА НАГРІВАЧІВ*)

```

IF Melting_S_temp_plastic1 > 160 OR Melting_S_temp_plastic2 > 160 THEN
    Melting_heaters := FALSE;
ELSE
    Melting_heaters := TRUE;
END_IF;

```

(*регулювання температури прес-форми*)

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		76

```

IF MoldClosing_S_temp_mold > MOLD_TEMP THEN
    MoldClosing_heaters_mold := FALSE;
    MoldClosing_cooler := TRUE;
END_IF;
IF MoldClosing_S_temp_mold < MOLD_TEMP THEN
    MoldClosing_heaters_mold := TRUE;
    MoldClosing_cooler := FALSE;
END_IF;
IF MoldClosing_S_temp_mold = MOLD_TEMP THEN
    MoldClosing_heaters_mold := FALSE;
    MoldClosing_cooler := FALSE;
END_IF;
END_IF;
END_WHILE;

```

```

Melting_clutch := FALSE;
Melting_worm_motor := FALSE;
Melting_heaters := FALSE;

```

```

MoldClosing_Hydraulic_cylinder := FALSE;
MoldClosing_cooler := FALSE;
MoldClosing_heaters_mold := FALSE;

```

```

Injection_hydraulic_cylinder := FALSE;
MoldOpening_Hydraulic_cylinder := FALSE;
step := 0;

```

					ДП.АКІТ.9702477.00.00.000.ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		