Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)
Кафедра автоматизації технологічних процесів та виробництв
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня

бакалавр
(освітній рівень)

на тему: Розробка автоматизованої системи управління лінією розливу газованих напоїв у скляну тару

Виконали: студенти 4 курсу, груп КА-41
Спеціальність *151*
"Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"
(шифр і назва спеціальності)

	(підпис)	Бейко Н.В. (прізвище та ініціали)
	(підпис)	Хамуза Т.М. (прізвище та ініціали)
Керівник	(підпис)	Коноваленко І.В. (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	(підпис)	Дмитрів О.Р. (прізвище та ініціали)
Зав. кафедри	(підпис)	Савків В.Б. (прізвище та ініціали)
Рецензент	(підпис)	Чихіра І.В. (прізвище та ініціали)

Тернопіль – 2026

АНОТАЦІЯ

В даній кваліфікаційній роботі автоматизовано процеси управління лінією розливу та закупорення газованої води, модернізовано блок закупорення фасувально-закупорювальної машини.

Проведено техніко-економічний аналіз та обгрунтування продуктивності фасувально-закупорювальної машини. Розраховано необхідну потужність для приведення в рух каруселей фасування та закупорення.

Підібрано раціональну кінематичну схему фасувально-закупорючальної машини. Розраховано технічні параметри елементів приводу каруселі фасування. Виконані розрахунки і відповідні обчислення показали дієздатність вибраного конструктивного рішення.

Розроблено алгоритми монтажу, експлуатації та технічного обслуговування фасувально-закупорювальної машини.

Запропоновано заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності при експлуатації фасувально-закупорювальної машини.

Зміст

АНОТАЦІЯ 4
ВСТУП 7
1. Аналітична частина 9
1.1. Аналіз будови та експлуатаційних характеристик обладнання для приготування, фасування та закупорення газованих напоїв 9
1.2 Аналіз технічних характеристик фасувально-закупорювальної машини Д5-ВД5Р-3 як об’єкта автоматизації 31
2. Проєктна частина 34
2.1. Вибір технологічної схеми і загальний опис технології виготовлення газованої води 34
2.1. Опис роботи автоматизованого комплексу 36
2.1. Загальний опис конструкції фасувально-закупорювальної машини 39
2.2. Технологічний розрахунок блоку фасування сиропу 48
2.3. Технологічний розрахунок блоку фасування води 51
2.4. Технологічний розрахунок блоку закупорення 54
2.5. Розрахунок затрат потужності на приведення в рух каруселей фасування та закупорення 57
2.6. Вибір кінематичної схеми фасувально-закупорювальної машини 61
2.7. Кінематичний розрахунок фасувально-закупорювальної машини 62
2.8. Опис роботи системи управління 69
2.8.1. Алгоритм функціонування основної системи 70
2.8.2. Алгоритм роботи системи контролю та діагностики конвеєра 72
2.8.3. Алгоритм функціонування системи регулювання та керування 73

2.9. Аналіз та вибір основних складових системи управління 76
2.10. Вибір та опис роботи давачів 78
2.11. Вибір та опис роботи частотних перетворювачів 86
2.11.1. Особливості роботи частотних перетворювачів „Omron” 86
2.11.2. Обгрунтування вибору частотних перетворювачів Omron 101
2.11.3. Технічні характеристики та особливості управління частотними перетворювачами Omron 106
3. Спеціальна частина..... 115
3.1. Особливості вибору програмованих контролерів..... 115
3.2. Особливості програмування промислових контролерів Omron 119
4 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці..... 127
4.1 Заходи з безпечної експлуатації технологічного обладнання в цеху розливу газованої води..... 127
4.2 Заходи з охорони праці і техніки безпеки при експлуатації фасувально-закупорювальної машини 129
4.3. Санітарно-гігієнічні вимоги до експлуатації цеху розливу газованої води 130
4.4. Розрахунок освітлення в цеху розливу 132
4.5 Розрахунок захисного заземлення апаратури 134
Висновки..... 136
Перелік посилань 138

ВСТУП

Харчова промисловість України – це не просто частина виробництва, це стратегічна опора всієї національної економіки. Її роль важко переоцінити, адже вона формує понад половину всієї структури товарів народного споживання [1–9].

Щоб зрозуміти масштаб впливу сектору, достатньо поглянути на цифри:

- 52,8% – частка галузі у виробництві предметів споживання.
- 16,3% – питома вага в загальному промисловому обсязі країни.
- 33,5% – внесок у продукцію агропромислового комплексу (АПК).
- 68,1% – частка продовольства у загальному випуску товарів широкого вжитку.

Крім того, продукти харчування забезпечують 63% роздрібного товарообігу та становлять понад 61% у структурі особистого споживання громадян.

Сектор виробництва газованих напоїв демонструє найвищі темпи розвитку серед усіх галузей харчової індустрії України, причому локальні бренди упевнено утримують лідерство у цьому стратегічному напрямку. На початкових етапах комерційні структури концентрувалися на масштабуванні випуску продукції у бюджетній пластиковій упаковці, однак згодом ринкові тенденції зазнали трансформацій, і на сьогодні вже близько чверті від усього обсягу готових напоїв поставляється споживачам у скляних пляшках [10–15].

Попри високі показники діяльності, цей виробничий напрямок наразі стримується загальними макроекономічними коливаннями, де основним деструктивним чинником є сильна прив'язка до суміжних секторів економіки, зокрема до паливно-енергетичного комплексу, важкого машинобудування та хімічного сектору, а найбільш критичним явищем

виступає зниження реальних доходів і купівельної спроможності громадян.

Отже, будь-які кроки з переобладнання потужностей повинні спиратися на детальні аналітичні розрахунки рентабельності та відповідати глобальній стратегії масштабування індустрії, адже лише такий підхід дозволить вітчизняному харчовому виробництву подолати кризові явища та завоювати міцні позиції на міжнародній арені.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз будови та експлуатаційних характеристик обладнання для приготування, фасування та закупорення газованих напоїв

Сироподозувальний автомат ДАМ

Дозувальний автомат ДАМ (рисунок 1.1) призначений для наповнення пляшок місткістю 0,5 л сиропом визначеної дози в межах від 65 до 130 $см^3$ при виробництві фруктових вод.

Автомат являє собою машину неперервної дії карусельного типу з індивідуальним приводом від електродвигуна [16–19].

Головний вал 20 змонтований у чавунній станині. На своєму верхньому кінці вал несе карусель 22 із дванадцятьма плунжерами 16 підйому пляшок і бачок 1 для дозованої рідини з дванадцятьма дозувальними патронами 4, фіксованими гвинтами 5.

На нижньому кінці головного вала змонтовано черв'ячне колесо для передачі крутного моменту від електродвигуна 27 головному валу 20, каруселі 22, стійці 24 і бачку з дозувальними патронами 4. Карусель 22 передає обертання зірочкам: приймальній знімаючій.

Автомат оснащений електроблокуванням «стоп» і вузлом контрольних зірочок, що пропускають по одній пляшці в приймальну зірочку. Прийомна знімаюча зірочки й автоблокуючий пристрій змонтовані на металевому столі 10, встановленому на трьох стійках 13, прикріплених за допомогою кронштейнів 15 до основи копіра 19.

Бачок 1, куди під час роботи неперервно надходить дозована рідина, розташований на стойці 24 і має поплавок 2 із клапанним пристроєм 3 для підтримки постійного рівня рідини в бачку. Трубопровід підведення рідини

кріпиться до станини за допомогою кронштейна 21 і стійки 23.

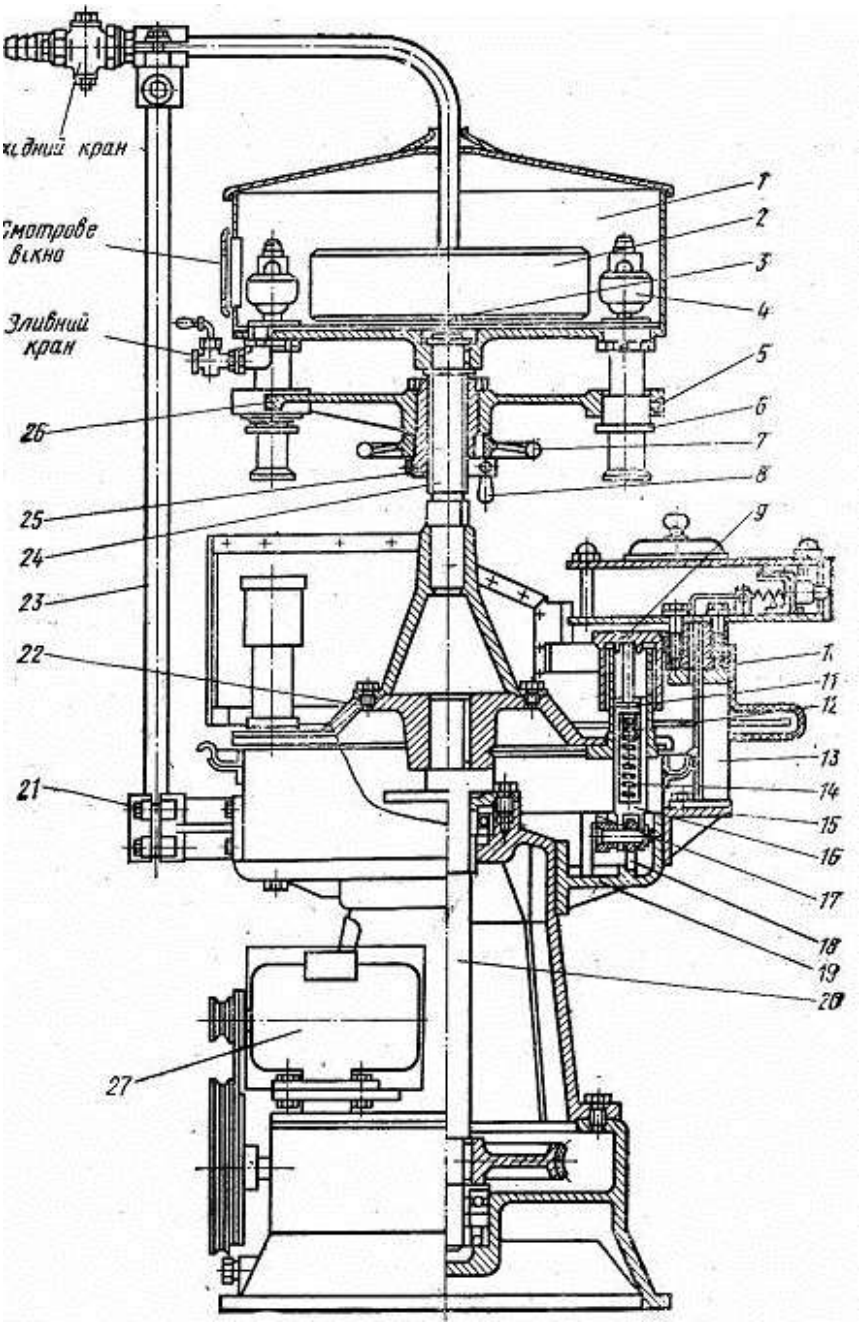


Рисунок 1.1 – Сироподозувальний автомат ДАМ

Підйом пляшок під налив здійснюється плунжерами 16 за допомогою кільцевого копіра 18, установленого на основі машини. Плунжер 16 у нижній частині має два ролики, один із яких служить для підйому плунжера копіром 18 нагору, а інший для опускання зворотним копіром 17 униз.

Зверху в плунжер вставлений повзун 12, на який давить пружина 14. Хід повзуна обмежено гайкою 11. На верхньому торці повзуна прикріплена тарілка 9 для установки пляшки. Повзун 12 з пружиною 14 є компенсатором при роботі системи плунжер – пляшка – дозатор.

На стійці 24 знаходиться упор 26, що переміщається нагору і вниз за допомогою маховиків 7 при переході з однієї дози на іншу. Положення маховика фіксується гайкою 25 із затиском 8. Для більш точної установки дози при настройці машини призначена втулка 6.

Технічна характеристика сироподозувального автомата ДАМ

Продуктивність, пляшок за годину	2000 або 3000
Межа дозування, $см^3$	65–130
Точність дозування, $см^3$	±1,5
Число дозувальних патронів	12
Частота обертання автомата, об/хв	від 2,9 до 4,34
Потужність електродвигуна, кВт	0,27
Частота обертання електродвигуна, об/хв	1410
Габаритні розміри, мм	
довжина	1105
ширина	965
висота	1895
Маса, кг	690

Розливочно-закупорювальна машина РП-2 (рисунок 1.2.)

Розливочно-закупорювальна машина марки РП-2 призначена для розливу газованих фруктових напоїв у пляшки місткістю 0,5 л і закупорення пляшок металевим ковпачком з ущільнювальною прокладкою [20–29].

Машина складається з наступних основних частин: наливача 6, наливного клапана 4, закупорювальної головки 8 з тягою 19, короба 18 для пробок, станини 15 з піднімальним столиком.

Технічна характеристика разливочно-закупорювальної машини РП-2

Продуктивність, пляшок за годину	450
Тиск при розливі, МПа	0,18–0,22
Габаритні розміри, мм	
довжина	630
ширина	1100
висота	1852
Маса, кг	160

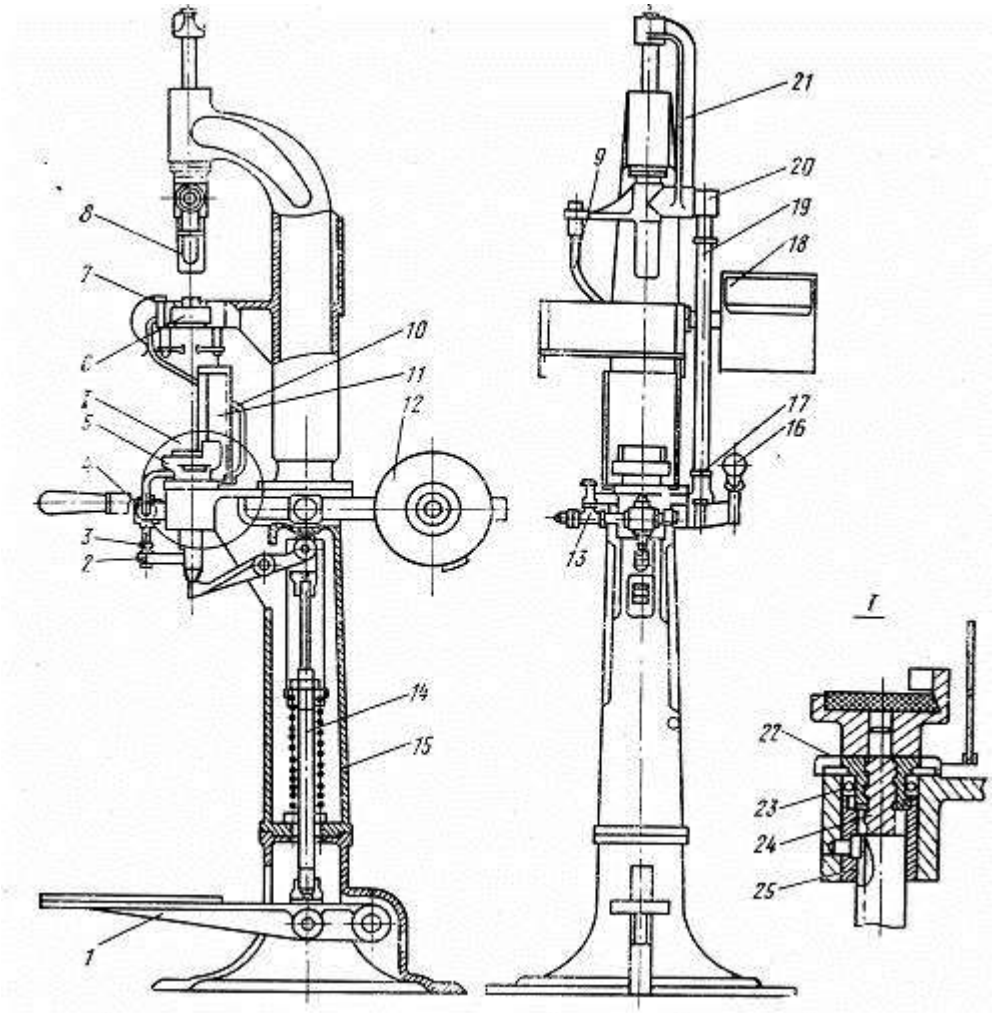


Рисунок 1.2 – Розливно-закупорювальна машина РП-2

1-педаль; 2-палець; 3-болт; 4-наливний клапан; 5 – столик; 6–наливач; 7–салазки; 8–закупорювальна головка; 9-копір; 10 підвідний трубопровід; 11 - поворотний щиток; 12 - противага; 13 - вентиль; 14-тяга; 15- станина; 16-важіль; 17, 18-короб для кроненпробок; 19-тяга; 20-серга; 21-кронштейн; 22-втулка; 23 - упорний шарикоподшипник; 24 – гвинт; 25 – втулка

Автомат розливу та закупорювання Б7-ВДР-1,5

Триблок Б7-ВДР-1,5 – це автоматизована комбінована машина ротаційного типу, яка об'єднує в одному технологічному циклі три фінальні операції фасування безалкогольних напоїв. Устаткування розроблене для інтеграції у середньопродуктивні лінії розливу.

Апарат забезпечує послідовне виконання трьох процесів для тари місткістю 0,33 л та 0,5 л:

1. Об'ємне дозування сиропу: Точне відмірювання заданої порції купажного сиропу безпосередньо всередину пляшки.

2. Ізобаричний розлив газованої води: Наповнення тари насиченою вуглекислим газом водою за рівнем. Даний процес відбувається за рахунок різниці тисків у резервуарі та пляшці, що запобігає дегазації та спіненню води.

3. Герметизація (закупорювання): Фіксація металевої кроненпробки на вінчику горловини пляшки.

Номінальна продуктивність машини становить 1500 пляшок за годину.

Конструкція Б7-ВДР-1,5 (рис. 1.3) базується на станині та системі каруселей, що дозволяє плавно переміщувати тару по колу під час обробки. Модель складається з таких елементів:

- Опорна плита (1) із приводом: Несуча основа всієї машини, всередині якої розміщені електродвигун, редуктор та елементи головної передачі, які забезпечують синхронне обертання каруселей.
- Дозувальна карусель (2): Ротаційний пристрій, оснащений циліндричними мірниками для порційного введення сиропу в пляшки.
- Карусель розливу (3): Кільцевий блок із наповнювальними патронами (клапанами) для ізобаричного подавання газованої води.
- Напірний збірник сиропу (6): Закритий резервуар, у якому підтримується необхідний тиск для подачі сиропу до дозаторів.

- Резервуар розливочної машини (9): Основна місткість для деаерованої газованої води, оснащена давачами рівня та системою підтримки тиску вуглекислого газу (CO_2).
- Диск (10) з бункером для кроненпробки: Механізм орієнтації, поштучної видачі та безпосереднього насування корків на горловину пляшки перед укупорюванням.

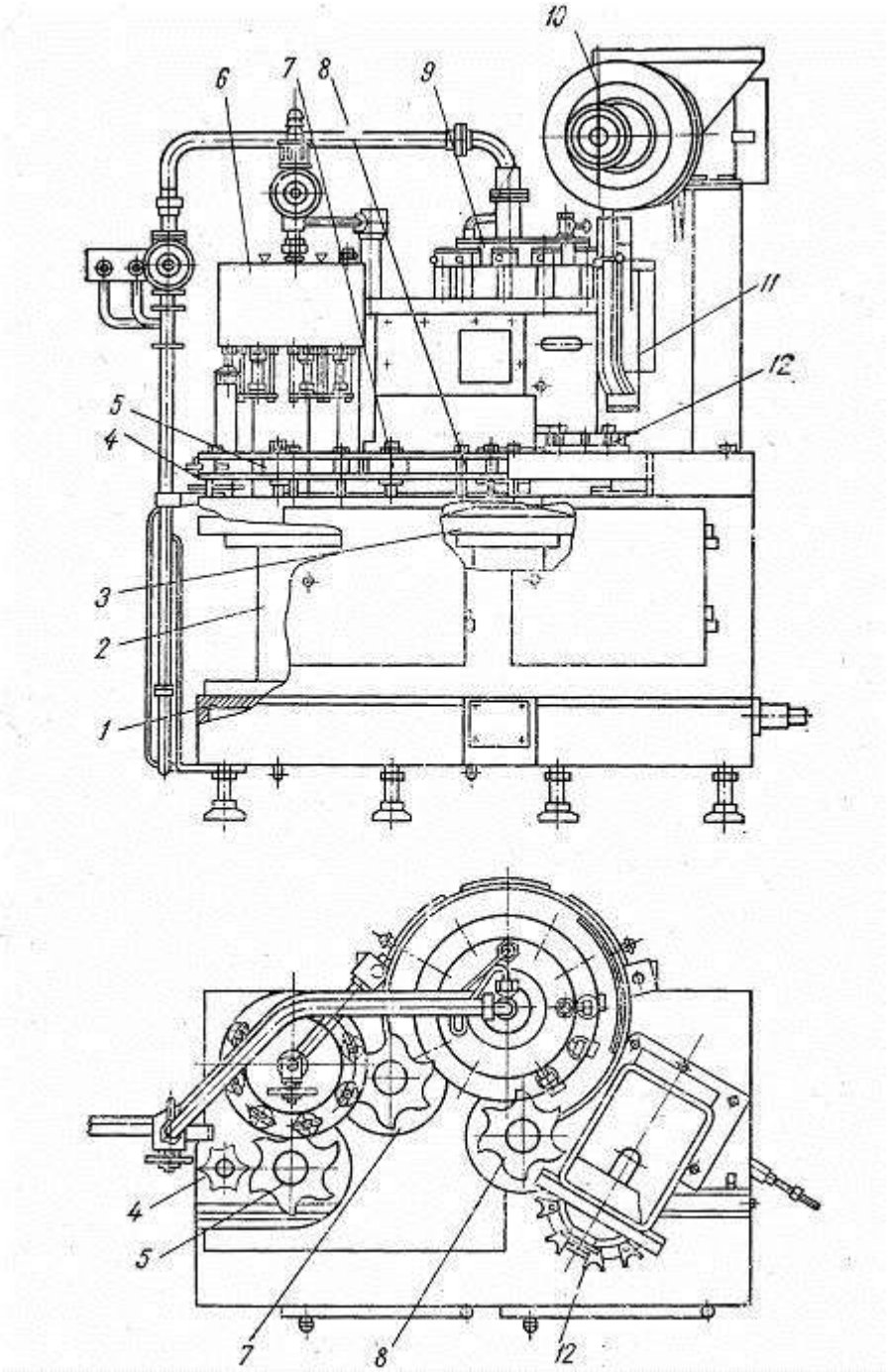


Рисунок 1.3. Автомат розливу та закупорювання Б7-ВДР-1,5

Машина Б7-ВДР-1,5 функціонує в автоматичному режимі, де безперервне переміщення тари забезпечується координованою системою зірочок. Спочатку вимиті пляшки проходять через контрольну зірочку 4, яка регулює інтервали та задає чіткий крок руху, після чого вхідна турнікетна зірочка 5 підхоплює їх і встановлює на індивідуальні столики піднімальних циліндрів дозуючої каруселі 2. Під час колового обертання цієї каруселі дозатора столики піднімають пляшки у верхнє робоче положення, де в кожну з них вводиться чітко відміряна порція купажного сиропу.

Після завершення цього етапу проміжна турнікетна зірочка 7 акуратно знімає наповнену сиропом тару з каруселі дозатора 2 та переносить її на аналогічні столики піднімальних циліндрів каруселі розливу 3. Тут, під час подальшого обертання по колу, спеціальні клапанні розливочні пристрої наповнюють пляшки газованою водою, причому цей процес триває строго до досягнення визначеного рівня рідини.

Далі наповнені пляшки знімаються з каруселі розливу 3 за допомогою турнікетної зірочки 8 і передаються на зірочку 12 вузла закупорення 11. Цей механізм за дві послідовні позиційні перестановки підводить кожну пляшку безпосередньо під закупорювальний патрон, який після короткої зупинки тари здійснює її герметизацію. Уже закриті пляшки за допомогою тієї ж зірочки 12 виводяться на магістральну стрічку загального транспортера, яка рухає готову продукцію далі до інспекційної машини для візуального або автоматичного контролю якості.

Сам процес роботи дозуючого пристрою машини Б7-ВДР-1,5 (рис. 1.4) базується на циклічній взаємодії механічних вузлів, що реагують на вертикальне переміщення тари.

У вихідному стані, коли пляшка ще не підійшла під налив, дозувальний стакан 3 разом із пов'язаними з ним через траверсу 2 та штанги 5 розетками 7 перебуває під власною вагою у крайньому

нижньому положенні. У цей момент дозувальний стакан 3 повністю занурений у сироп всередині резервуара і через спеціальні прорізи в бічних стінках наповнюється рідиною до рівня сиропу в цьому резервуарі. Зливальна трубка 6 при цьому залишається вільною від рідини, оскільки її верхній край виступає над поверхнею сиропу в ємності.

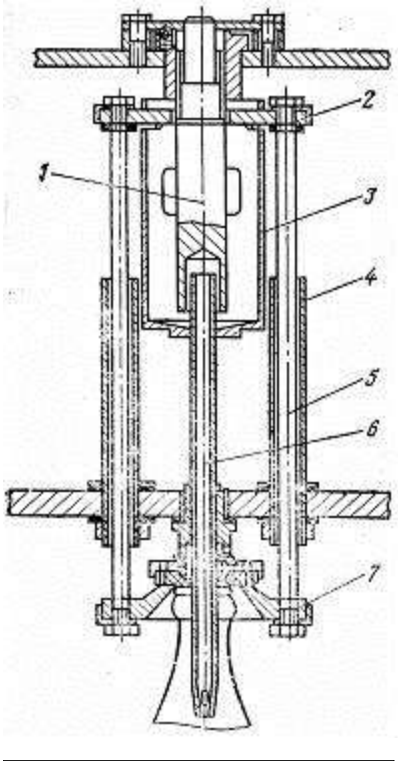


Рисунок 1.4. Дозуючий пристрій дозувально-розливочно-закупорювальної машини Б7-ВДР-1.5.

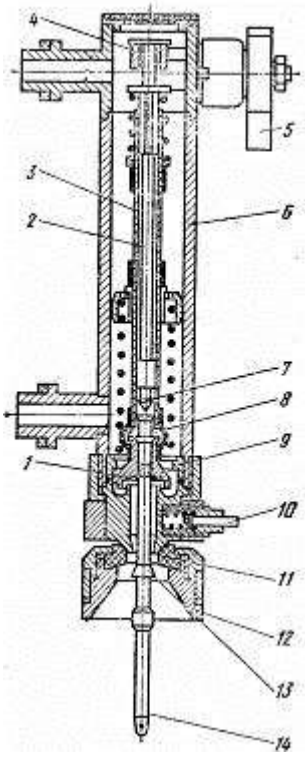


Рисунок 1.5. Розливочний пристрій машини Б7-ВДР-1,5.

Коли пляшка піднімається під дією повітряного циліндра, вона впирається своїм горлечком у розетку 7 і штовхає її разом із дозувальним стаканом 3 вгору до упора, при цьому штанги 5 рухаються строго уздовж напрямляючих 4. Під час цього підйому дозувальний стакан 3 виходить із загальної маси сиропу, а весь його надлишок вільно стікає назад у резервуар через бічні щілини склянки, фіксуючи точний об'єм дози.

Одночасно з цим рухом розетки 7 зливальна трубка 6 заходить безпосередньо всередину пляшки.

Коли система досягає своєї верхньої точки, сироп починає самотоком перетікати в тару через концентричний зазор між сифонною трубкою 1 та зливальною трубкою 6. Цей вилив порції сиропу відбувається у два послідовні етапи, де спочатку рідина витікає з дозувального стакана 3 під дією власної ваги до рівня верхнього зрізу зливальної трубки 6, а потім вмикається процес сифонування, який висмоктує залишок сиропу від цього зрізу зливальної трубки 6 до межі заглиблення сифонної трубки 1 всередині дозувального стакана 3.

Зміна дозування цукрового сиропу відбувається за допомогою зсуву сифонного циліндра 1 у вертикальній площині відносно верхнього краю зливного каналу 6. Дане технічне рішення дає змогу коригувати кількість продукту, що подається, в інтервалі між 80 $см^3$ та 110 $см^3$, гарантуючи при цьому мінімальну похибку, яка не перевищує межі ± 1 $см^3$.

Водночас розливний механізм, інтегрований в агрегат марки Б7-ВДР-1,5 (рис. 1.5), призначений для подачі насиченої вуглекислотою рідини в скляні посудини за методикою відсікання потоку відповідно до досягнутої висоти наповнення, що відбувається в ізобаричному середовищі під впливом підвищеного тиску.

Цей робочий орган спроектований із зовнішнім розташуванням клапанної системи і забезпечує плівковий стікаючий налив, коли рідка фаза направляється безпосередньо вздовж внутрішніх поверхонь пляшки. Конструктивною базою пристрою є трубчастий циліндричний блок 6, на якому розміщено пару з'єднувальних патрубків: верхній слугує для вирівнювання середовища з газовою зоною робочого бака, тоді як нижній зблокований з його рідинним об'ємом. До донної ділянки вказаного трубчастого елемента 6 за допомогою нарізної фіксуючої муфти приєднано гніздо рідинного запірного органу. На його зовнішній окружності розташована напрямна втулка, що слугує основою для пари металевих

стрижнів та обмежувача 10 допоміжного клапанного пристрою скидання тиску. Ці стрижні утримують центрувальний ковпачок, який містить у собі напрямний засіб 12 та пружну герметизуючу прокладку 11. У внутрішній порожнині самого трубчастого елемента 6 змонтовано головний рідинний клапан, у структуру якого входять газовідвідний канал 14 із розсіювальним елементом 13, еластичний з'єднувач 8, центрувальний патрубок 3 і гумовий ущільнювач.

Завдяки наявності інстальованого патрубка 3 забезпечується прямолінійне переміщення внутрішнього штока 2, нижня частина якого забезпечена газовим клапаном 7, а верхній край за допомогою вилкоподібного тримача 4 та сполучного штифта взаємодіє з розташованим ззовні приводною зірочкою 5.

Комплекс запірних клапанів для газу та рідини оснащений зворотними пружинними механізмами, параметри яких відрегульовані так, що за умов абсолютної рівноваги тиску у верхній та нижній зонах клапанних пристроїв під час заповнення тари водою, потенціал цих пружин гарантує надійне збереження запірних органів у розімкненому положенні. Водночас у разі відсутності скляної посудини на робочій позиції або при порушенні її цілісності, утворюється перепад між тиском у газовому просторі накопичувальної місткості та зовнішнім атмосферним тиском, який моментально перевищує протидію пружинних елементів і здійснює примусове закриття обох каналів.

Безпосередній процес наповнення тари газованою водою за допомогою розливочного пристрою відбувається за чітким операційним циклом. Спочатку пляшка під дією піднімального пневмоциліндра спрямовується горлом у розетку, де за допомогою уловлювача 12 центрується до наливної трубки 14, щільно притискається до ущільнюючого кільця 11 і захоплює розетку вгору до упора. На цьому етапі повітряна трубка 14 опиняється всередині тари, а ущільнююче кільце 11 повністю ізолює внутрішній об'єм від навколишнього середовища.

Обертаючись разом із видатковим резервуаром, розливочний пристрій взаємодіє з нерухомим блокувальним механізмом, оснащеним двома упорами. Перший із цих упорів (верхній) переводить зірочку 5 у крайнє нижнє робоче положення, змушуючи вилку 4 підняти стебло 2 разом із повітряним клапаном 7, внаслідок чого діоксид вуглецю з верхньої зони резервуара вільно перетікає в пляшку, вирівнюючи в ній тиск до робочого рівня.

Одразу після цього другий (нижній) упор блокувального механізму зміщує зірочку 5 та вилку 4 в середню позицію, за якої стебло 2 з повітряним клапаном 7 звільняється від прямого впливу вилки 4 та утримується відкритою суто під дією розтискної пружини. Таке проміжне налаштування є критично важливим, оскільки воно гарантує автоматичне закриття повітряного клапана 7 у випадку раптового розриву або втрати герметичності тари. Щойно тиск у пляшці стає рівним тиску в газовій зоні резервуара, рідинний клапан під впливом своєї пружини самостійно відкривається. Газована вода починає надходити з резервуара, проходить крізь рідинний клапан, долає кільцевий зазор між сідлом 9 і повітряною трубкою 14 та потрапляє на конус 13. Оминаючи цей конус, рідина плавно стікає безпосередньо по внутрішніх стінках пляшки, забезпечуючи її наповнення.

Під час наливу діоксид вуглецю, що витісняється водою, виходить через бічні отвори повітряної трубки 14 назад у верхню частину резервуара. Процес заповнення триває рівно до того моменту, поки дзеркало піднятої рідини повністю не перекриє ці бічні отвори повітряної трубки 14, що призводить до зупинки потоку. Після завершення наливу черговий упор блокувального пристрою повертає зірочку 5 разом із вилкою 4 у вихідне крайнє верхнє положення, примусово замикаючи повітряний і рідинний клапани та повністю відсікаючи пляшку від ємностей із газом та водою. У такій позиції пристрій підходить до спеціальної декомпресійної гребінки з роликами, де кожен окремий ролик короткочасно натискає на упор 10

клапана скидання тиску. Це дозволяє на мить сполучити порожнину наповненої пляшки з атмосферою, забезпечуючи плавне та безпечне зниження внутрішнього тиску до нормального рівня без спінювання напою. Після завершення скидання тиску столики опускають пляшку, вона виводиться з розливочної позиції, а пристрій повертається у вихідний стан.

Для підготовки вузла до наступного робочого циклу та видалення крапель рідини з внутрішніх стінок повітряної трубки 14 передбачено додатковий блокувальний пристрій. Його упори примусово змушують повітряний клапан 7 різко відкритися та закритися. В момент цього короткого відкриття повітряного клапана 7 потік діоксиду вуглецю, що під тиском виривається з газової зони резервуара, проходить через повітряну трубку 14 та імпульсно видуває всі залишки газованої води через її бічні отвори назовні в атмосферу, завершуючи повну підготовку обладнання до контакту з наступною пляшкою.

Технічна характеристика автомата розливу та закупорювання Б7-ВДР-1,5

Продуктивність, пляшок за годину	1500
Число робочих органів машини	
розливочних пристроїв	12
дозуючих пристроїв	8
закупорювальних патронів	1
Тиск у резервуарі машини, МПа	0,17–0,4
Тиск повітря в піднімальних циліндрах, МПа	0,32
Температура води, що надходить на розлив, °С	1-7
Потужність електродвигуна, кВт	1,1
Габаритні розміри машини, мм	
довжина	1228
ширина	203
висота	2160
Маса, кг	2000

Фасувальний автомат РГМ-3 (рисунок 1.6).

Фасувальний автомат РГМ-3 спроектований для порційного наповнення пляшок газованою водою з орієнтацією на фіксований рівень наливу та з дотриманням ізобаричного принципу, що передбачає роботу в умовах повного паритету надлишкового тиску.

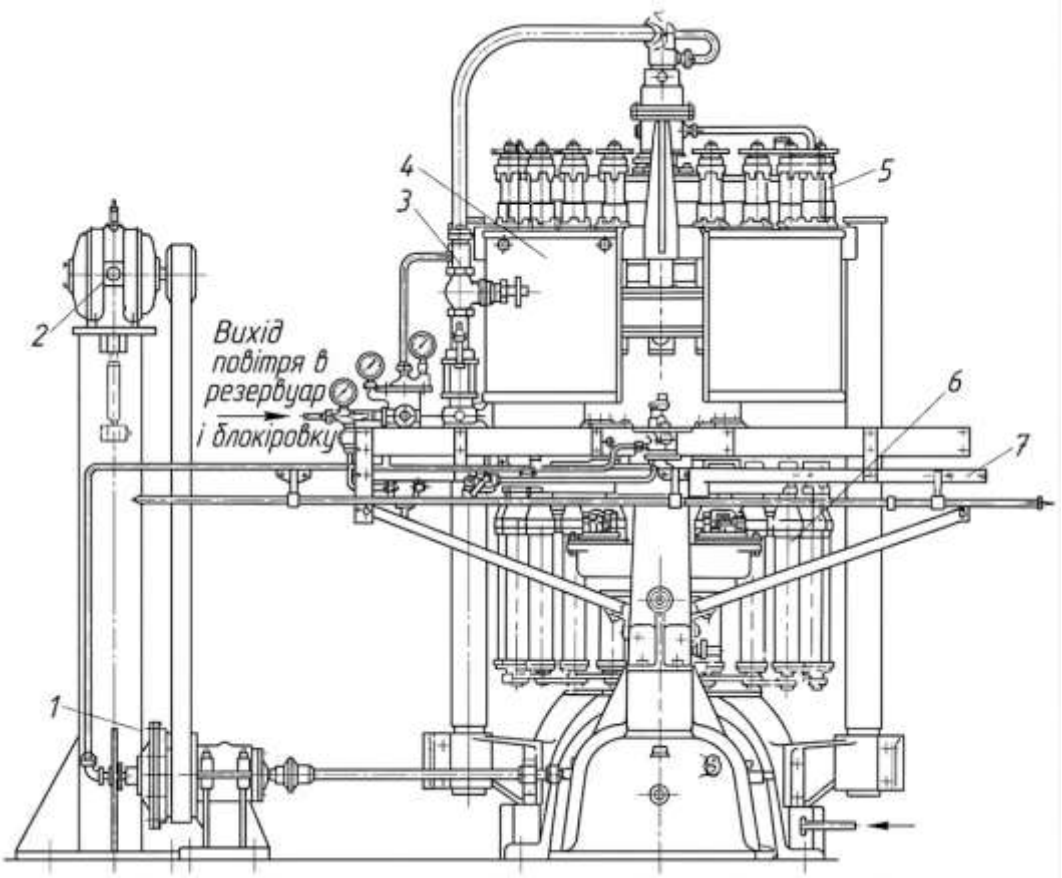


Рисунок 1.6. Фасувальний автомат РГМ-3:

1 – пневмофрикційна муфта; 2 – електродвигун; 3 – турнікетний пристрій; 4-ротор; 5– розливочні крани; 6-піднімальні циліндри; 7– пластинчастий транспортер.

Відмінною конструктивною рисою цієї машини є винесення її привода за межі основного корпусу – він змонтований на відокремленій фундаментній рамі та передає крутний момент через гнучкий приєднуваний карданний вал. Сам приводний комплекс сформований на базі стандартного електродвигуна, що взаємодіє з пневмофрикційною муфтою зчеплення.

Технічна характеристика фасувального автомата РГМ-3

Продуктивність, пляшок за годину	3100
Число розливочних пристроїв	20
Припустиме відхилення рівня наповнення, від номінального значення, мм	±10
Тиск у резервуарі, МПа	0,18–0,25
Тиск стерильного повітря або диоксиду вуглецю, МПа	0,18–0,4
Тиск стиснутого повітря в піднімальних циліндрах, МПа	0,25–0,5
Витрата стиснутого повітря, $м^3$/год	12,5
Потужність електродвигуна, кВт	1,5
Габаритні розміри, мм	
довжина	2100
ширина	1500
висота	2200
Маса, кг	1800

Внутрішня архітектура автомата РГМ-3 базується на двох головних механізмах: поворотному роторі та системі транспортних турнікетів. Роторна частина робочого столу обладнана автономними пневматичними підіймально-опускними пристроями для вертикального переміщення тари, а також круглим герметичним резервуаром, на якому радіально встановлені розливочні крани, що здійснюють безпосереднє подавання робочої рідини у пляшки.

Паралельно з цим, турнікетний розподільний вузол обладнання здійснює поштучний відбір скляної тари із загального конвеєрного ряду, її послідовне переміщення з підвідного стрічкового транспортера безпосередньо на опорні майданчики обертового карусельного блока, а також подальше виведення оброблених пляшок назад на відвідну лінію після закінчення технологічного циклу заповнення. З метою забезпечення безперервної та рівномірної подачі насиченої вуглекислотою рідини у

внутрішній об'єм накопичувального бака конструкція агрегату передбачає наявність виділеного трубопровідного контуру.

З метою забезпечення постійного візуального моніторингу за поточними технологічними параметрами, а саме за рівнем наповнення та внутрішнім тиском, і сам робочий резервуар, і лінія підвідного трубопроводу укомплектовані прозорим оглядовим склом та механічними манометрами.

Для забезпечення штатного функціонування пневмофрикційної муфти зчеплення та безперебійного живлення повітряних підіймальних циліндрів до автомата підведено окрему розподільну магістраль стиснутого повітря. У цю пневматичну лінію послідовно інтегровані захисний блокувальний пристрій, механічна штанга вмикання та контрольний манометр.

Роль захисного блокувального пристрою полягає у миттєвій автоматичній зупинці всього автомата у разі виникнення будь-яких збоїв або відхилень від нормального робочого циклу повітряних циліндрів. Водночас пускова штанга керування дозволяє оператору оперативно здійснювати запуск та екстрену зупинку руху автомата без потреби повного вимкнення живлення головного електродвигуна.

Дозувально-розливно-закупорювальна машина типу ВД2Р.

Дозувально-розливочно-закупорювальна машина типу ВД2Р призначена для наливання в пляшку дози купажного сиропу, наповнення пляшки газованою водою за рівнем і закупорки наповнених пляшок кроненпробкою.

Машини цього типу випускаються двох типів ВД2Р-3 і ВД2Р-6, технічна характеристика їх приведена нижче.

Технічні характеристики дозувально-розливочно-закупорювальних машин

	ВД2Р-3	ВД2Р-6
Продуктивність, пляшок за годину	3000	6000
Число робочих органів машини		
дозуючих пристроїв	12	16
розливочних пристроїв	20	32
Межа регулювання дози сиропу, $см^3$	80–110	80–110
Точність дозування, $см^3$	±1,0	±1,0
Температура сиропу, що розливається, С	5	5
Номінальне значення рівня наповнення пляшки від верхнього краю віночка, мм	44	44
Припустиме відхилення рівня наповнення пляшки від номінального значення, мм	+19…–10	+19…–10
Температура розливу газованої води, °С, не більше	4	–
Тиск газованої води в резервуарі, МПа	0,18–0,25	0,18–0,25
Тиск диоксиду вуглецю або стерильного повітря для створення протитиску, МПа	0,18–0,4	0,18–0,4
Витрата диоксиду вуглецю газу, $м^3$/год	8	8
Тиск стиснутого повітря для роботи піднімальних пристроїв, МПа	0,25–0,5	0,25–0,5
Витрата стиснутого повітря, $м^3$/год	15	15
Висота від рівня транспортера до станини машини, мм	960	960
Потужність електродвигунів, кВт	2,2	2,2
Габаритні розміри, мм		
довжина	3932	4070
ширина	1400	1660
висота	2200	2280
Маса, машини, кг	4400	4800

Машина типу ВД2Р (рисунок 1.7.) складається з трьох послідовно розташованих на фундаментних рамах автоматів, що мають загальний

транспортер і єдиний привід, вбудований у станину закупорювального автомата. Привід складається з електродвигуна і пневмофрикційної муфти, від якої одержують обертовий рух всі елементи машини.

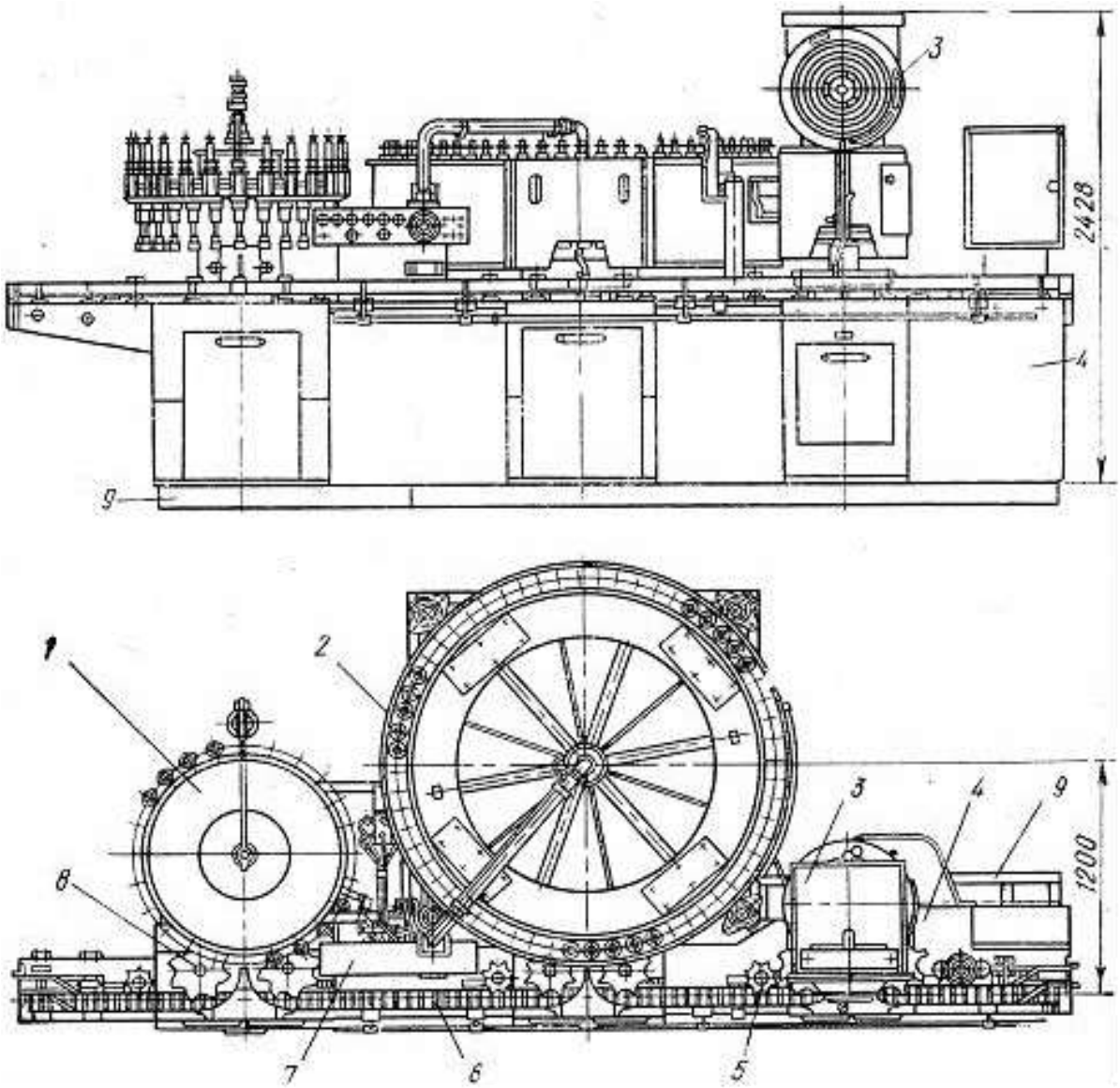


Рисунок 1.7. – Дозувально-разливочно-закупорювальна машина типу ВД2Р:
1-ротор дозувального автомата; 2-ротор розливочного автомата; 3 – закупорювальний автомат; 4 – стіл закупорювального автомата; 5-турнікет закупорювального автомата; 6-транспортер; 7-турнікет розливочного автомата; 8– турнікет дозировочного автомата; 9 – станина.

Автомати, що входять до машини, складаються з роторів і турнікетних пристроїв. Ротори автоматів дозування сиропу і розливу

газованої води складаються зі столів із пневматичними пристроями для підйому й опускання пляшок і резервуарів з розливочними пристроями для наповнення пляшок рідиною, що розливається.

Ротор закупорювального автомата складається зі столу та закупорювальних патронів, що від копіра одержують зворотньо-поступальний рух у вертикальній площині. Турнікетні пристрої автоматів служать для відділення пляшок і переносу їх із транспортерної стрічки на ротор автомата і назад. Для рідини, що розливається, у резервуари автоматів дозування сиропу і розливу газованої води машина має трубопроводи.

Закупорювальный автомат оснащений бункером для кроненпробки і пристроєм для поділу, орієнтації і транспортування кроненпробки від бункера до закупорювальних патронів.

Від пляшкомийної машини чисті порожні пляшки суцільним потоком подаються транспортерною стрічкою до турнікетного пристрою автомата дозування сиропу. У турнікетному пристрої пляшки шнеком відокремлюються одна від одної і по одній попадають у вхідну турнікетну зірочку.

Турнікетна зірочка переносить пляшку з транспортерної стрічки на столик повітряного циліндра ротора автомата дозування сиропу.

На роторі пляшка піднімається повітряним циліндром, впирається горлом у розетку рухливої частини дозуючого пристрою, центрується в ній і разом з розеткою переміщається нагору до упора.

У крайнім верхнім положенні відбувається злив дози сиропу з дозуючого пристрою в пляшку. Після зливу дози пляшка опускається і вихідною турнікетною зірочкою переноситься з ротора автомата дозування сиропу на транспортерну стрічку.

Транспортерна стрічка відводить пляшку з дозою сиропу до контрольної зірочки (машина ВД2Р-3) чи до шнека (машина ВД2Р-6) турнікетного пристрою автомата розливу газованої води.

Контрольна зірочка чи шнек розділяє пляшки і пропускає по одній до вхідної турнікетної зірочки, що переносить пляшку з транспортерної стрічки на столик повітряного циліндра ротора автомата. Аналогічно до дозування сиропу відбувається дозування газованої води.

Наповнена пляшка опускається і вихідною турнікетною зірочкою переноситься з ротора автомата на транспортерну стрічку.

Транспортерна стрічка переміщає наповнену пляшку до шнека закупорювального автомата. Пляшка, пропущена шнеком, попадає у вхідну турнікетну зірочку і переноситься з транспортерної стрічки на стіл ротора закупорювального автомата.

На столі закупорювальный патрон одягає на горло пляшки кроненпробку і розрізні кулачки обжимають її навколо віночка горла. Закупорена пляшка переноситься вихідною турнікетною зірочкою зі столу ротора на транспортерну стрічку і направляється до автомата змішування напою.

Дозуючі і розливочні пристрої на автоматі аналогічні застосовуваним у машині В7-ВДР-1,5.

Для забезпечення усталеної роботи розливочного пристрою і нормального режиму розливу необхідно розлив газованої води робити в ізонадбарометричних умовах при тиску, рівному тиску в сатураторі, при постійному рівні рідини у видатковому резервуарі.

У даному автоматі прийнята одноканальна схема, при якій рівність тисків у газовій і рідинній зонах видаткового резервуара забезпечується регулятором тиску, а постійний рівень рідини двома поплавковими клапанами.

Автоматизований розливочно-закупорювальний блок РЗ-ВМБ-40/6 (рисунок 1.8) спроектований для фінального наповнення пляшок готовими безалкогольними напоями, попередньо насиченими діоксидом вуглецю, з їхнім подальшим укупорюванням.

Технічна характеристика автоматизованого розливочно-закупорювального блоку РЗ-ВМБ-40/6

Продуктивність технічна, пляшок за годину	6000
Число робочих органів блоку	
разливочних пристроїв	40
закупорювальних патронів	6
Робочий тиск у резервуарі блока, МПа	0,18–0,25
Тиск повітря в пневматичних піднімальних циліндрах, МПа	0,25–0,35
Витрата очищеного повітря чи CO_2 для створення протитиску, $м^3$/год	2
Витрата повітря в пневматичних піднімальних циліндрах і для подачі кроненпробок в закупорювальні патрони, $м^3$/год	6
Потужність електродвигуна, кВт	2,2
Частота обертання вала, об/хв	1440
Відстань від підлоги до рівня транспортеру, мм	960–1200
Габаритні розміри, мм	
довжина	2680
ширина	2240
висота	2480
Маса, кг	3100

Конструктивно цей агрегат об'єднує в єдину технологічну систему розливочну машину та закупорювальний автомат, які мають спільний приводний вузол і жорстко зафіксовані на одній загальній станині. Безпосередньо на цій станині, окрім елементів розливочної та закупорювальної частин, також компактно змонтовані загальний привод та турнікетна група. Покрокова передача тари з розливочної зони безпосередньо до робочих органів укупорювального автомата здійснюється в автоматичному режимі за допомогою проміжної турнікетної зірочки.

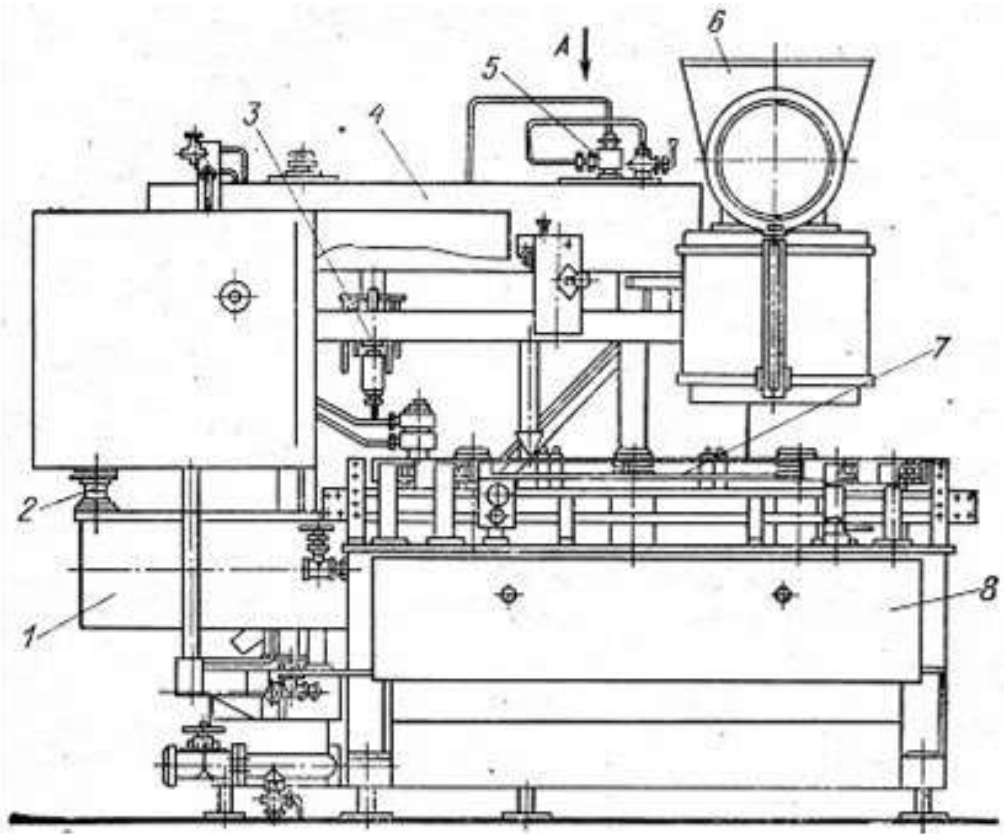


Рисунок 1.8 – Автоматизований розливочно-закупорювальний блок РЗ-ВМБ-40/6:

1-карусель; 2-піднімальний циліндр; 3 – розливочний пристрій; 4-видатковий резервуар; 5 – система підтримки тиску і рівня; 6 – закупорювальный автомат; 7-турнікетний пристрій; 8-станина з приводом.

Головна розливочна карусель автомата отримує крутний момент і приводиться в безперервний рух через зубчасту передачу від головного привода, при цьому сама карусель по всьому периметру оснащена індивідуальними пневмомеханічними піднімальними пристроями, що забезпечують вертикальне переміщення та притискання пляшок до наливних елементів. Своєю чергою, функціональна закупорююча частина цього блока виконана на основі робочої головки від серійного промислового закупорювального автомата моделі У-6.

Специфіка внутрішньої будови та взаємодії деталей безпосередньо

самого розливочного пристрою, інтегрованого в цей блок, детально відображена на рисунку 1.9.

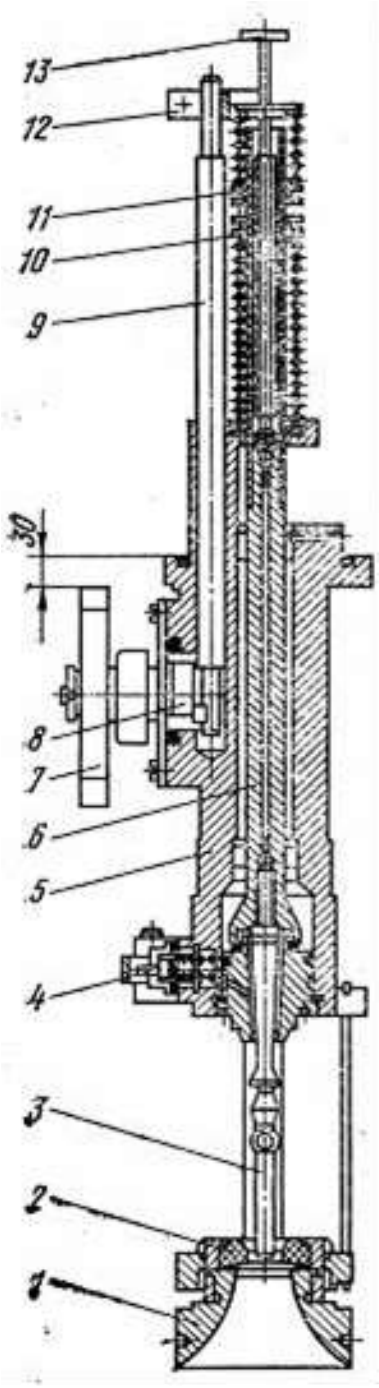


Рисунок 1.9. – Розливочний пристрій розливочно-закупорювального блоку РЗ-ВМБ-40/6:

1 – дзвіночок; 2 – ущільнення; 3 – повітряна трубка; 4-декомпресор; 5-корпус; 6-водяний клапан; 7-зірочка; 8-колінчатий вал; 9-штанга; 10, 11-гайки; 12– упор; 13 – газовий клапан.

1.2 Аналіз технічних характеристик фасувально-закупорювальної машини Д5-ВД5Р-3 як об’єкта автоматизації

Машина марки Д5-ВД5Р-3 призначена для фасовки сиропу по об’єму при атмосферному тиску, фасовки газованої води або фасовки інших газованих напоїв за рівнем при надлишковому тиску і закупорювання скляних пляшок кроненпробками.

Експлуатація даної омашини розрахована на використання за таких параметрів навколишнього середовища та режимів функціонування: безперервний виробничий цикл із можливістю проведення регулярних технологічних пауз, переміщення конвеєрного ряду з тарою у напрямку з лівого боку на правий, температурні показники навколишнього простору в межах від +10 до +35°С, а також рівень відносної вологості повітря, що не перевищує граничне значення 80% за умови збереження температури на позначці +25°С.

Конструкцією машини передбачено фасування продукту тільки при наявності пляшок під фасуючим патроном, а в випадку розриву пляшки фасування автоматично припиняється, при цьому вмикається автоматичний зливний пристрій, який виконує змив скла.

Всі елементи машини, які мають контакт з продуктом, вироблені з корозійностійких сталей, що забезпечує хорошу якість продукту.

Машина встановлюється півсферичними ніжками з регулюванням по висоті на амортизовані пяти. Такий спосіб установки дозволяє компенсувати нерівності підлоги, полегшує очистку машини і виключає вібрацію.

Технічні характеристики машини Д3-ВД5Р-3:

Технічна продуктивність, пл/год не менше	3500
Кількість робочих органів, шт.	
фасувальних для сиропу	12
фасувальних для газованої води	24
закупорювальних	4
Тип піднімальних пристроїв для пляшок при фасовці:	
сиропу	механічний
газованої води	пневмомеханічний
Фасування:	
сиропу	за об’ємом
газованої води	за рівнем
Повнота наповнення пляшок при заданому рівні, см	
для пляшок 500, 330	
для пляшок 250	250
Масова частка двоокису вуглецю в готових	
безалкогольних напоях, %, не менше	0,5
Вихід нормально наповнених і герметично	
закупорених пляшок, %, не менше	99,5
Займана площа, $м^2$, не більше	4,5
Коефіцієнт автоматизації, не менше	0,95
Привод - електричний	
Номінальна потужність двигуна, кВт	1,5
Споживання:	
Електроенергії, МДж (кВт.год), не більше	4,97 (1,38)
Стиснутого повітря тиском від 0,25	
до 0,5 МПа, $м^3$, не більше	9,75
Вуглекислого газу або стерильного повітря	
для протитиску від 0,22 до 0,4 МПа, $м^3$/год, не більше	7,8

Серед ключових дефектів під час експлуатації цієї машини є підвищений рівень пошкодження скляних пляшок, показники якого перевищують аналогічні параметри інших технічних засобів через конструктивні прорахунки в роботі укупорювального вузла та механізму дозування.

З огляду на це, з метою підвищення ефективності та надійності виробничого процесу раціональним кроком є повне переобладнання фасувальної секції та інтеграція більш сучасного функціонального блока. Впровадження в конструкцію машини нових розливних пристроїв спеціальних амортизаційних вузлів дозволить майже стовідсотково запобігти деформації та механічному руйнуванню тари під час наповнення.

2. ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1. Вибір технологічної схеми і загальний опис технології виготовлення газованої води

При виробництві газованої води основними технологічним процесами, які здійснюються у виробничих умовах є:

попередня очистка води в пісочних фільтрах або фільтр-пресах;

очистка в керамічних стічних фільтрах (знезараження);

покращення якості води в вугільно-пісочних фільтрах;

теплова обробка;

змішування з CO_2 в синхронно-змішувальних установках;

подача води на розлив;

розлив води, закупорення і нанесення етикеток.

Вода із природнього джерела подається до пісочних фільтрів, де здійснюється її попередня очистка від грубих домішок. Фільтри являють собою герметично закриті циліндричні резервуари, заповнені шарами гравію та кварцевого піску. Пісочний фільтр включають в водогінну мережу через редуктор для забезпечення притоку води при постійному тиску. Альтернативою пісочним фільтрам можуть служити рамні фільтр-преси.

Наступною операцією по підготовці води є її знезараження (біологічна очистка). Біологічну очистку води найчастіше здійснюють фільтрацією через знежаражуючі фільтри або термічним способом (кип’ятінням). В якості знежаражуючих фільтрів найчастіше застосовуються керамічні свічні фільтри. Для усунення посторонніх запахів чи зняття колірності води, її пропускають через вугільно-пісочні фільтри чи вугільні колонки. Вугільно-пісочні фільтри по будові схожі до пісочних, різниця полягає лише в наявності шару вугілля.

Діоксид вуглецю доставляють на завод у рідкому стані в спеціалізованих автоцистернах, з яких зливають в стаціонарні цистерни, призначених для зберігання CO_2. По мірі виникнення потреби диоксид вуглецю передають на станцію газифікації, з якої газоподібний диоксид через гребінку поступає на синхронно-змішувальну установку. З неї газований напиток поступає на розливочний автомат. Туди ж подаються сироп, кроненпробки та попередньо вимиті пляшки. Після розливу і закупорення на пляшку з водою наноситься етикетка. Потім пляшки вкладаються у ящики і відправляються на склад і на реалізацію.

Даний розливно-закупорювальний комплекс спроектований для здійснення фасування в скляну чи пластикову тару готової продукції, яка пройшла стадію карбонізації вуглекислим газом.

До складу обладнання входять дозуючі пристрої для подачі концентрованого сиропу та газованої води, а також укупорювальна секція, які об'єднані єдиною системою механічного приводу та встановлені на загальній опорній рамі. Санітарно оброблений посуд, подолавши блок попередньої перевірки, перехоплюється вхідним напрямним зіркоподібним елементом та позиціонується безпосередньо на підйомних елементах вертикальних поршнів розливного карусельного вузла.

У процесі кругового руху головного ротора таромісця переміщуються у верхню точку, внаслідок чого здійснюється введення всередину пляшки чітко визначеного об'єму сиропу. На наступному етапі за ідентичним принципом відбувається остаточне наповнення пляшки газованою водою. Після завершення процесу наливу пляшка спрямовується у проміжну розподільну зірочку, яка переміщує її на обертову платформу укупорювального блока, де виконується герметичне запечатування горловини кришкою.

Закупорена пляшка за допомогою вихідного турнікетного механізму знімається з робочої зони ротора, переводиться на рухому лінію пластинчастого конвеєра та транспортується далі за технологічним циклом

до обладнання для нанесення товарних етикеток.

2.1. Опис роботи автоматизованого комплексу

Розроблюваний автоматизований комплекс призначений для виготовлення, розливу та закупорення газованої води. Комплекс проводить регулювання роботи конвеєра по засобах включення, виключення автоматів і транспортерів, а так само зміни швидкості руху транспортерів і зміни продуктивності автоматів. При введенні в експлуатацію розроблюваної системи планується отримати економію електроенергії до 10 %, зменшити тертя між пляшками та транспортером, тобто зменшити навантаження на електродвигуни, зменшити простій автоматизованого комплексу.

На даний момент конвеєр управляється бригадою налагоджувальників, що складається з 9 осіб (по кількості автоматів). Кожний з налагоджувальників відповідає за свій автомат і регулює продуктивність автомата і швидкість роботи транспортера. У разі потреби налагоджувальник вмикає чи вимикає автомат і транспортер. Задача налагоджувальника полягає в тому, щоб не допустити простоїв або перевантажень автоматів і контролювати роботу транспортерів. Оскільки в даному випадку діє «людський фактор», запропоновано розробити таку систему, яка позбавила б працівників від постійного нагляду, контролю і управління за процесом виробництва та збільшила б рентабельність конвеєра.

Для вирішення цієї задачі запропоновано використовувати промислові контролери для управління, і частотні перетворювачі для регулювання швидкістю роботи транспортерів. Для зменшення витрат на створення даної системи були вибрані контролери фірми OMRON CQM1H.

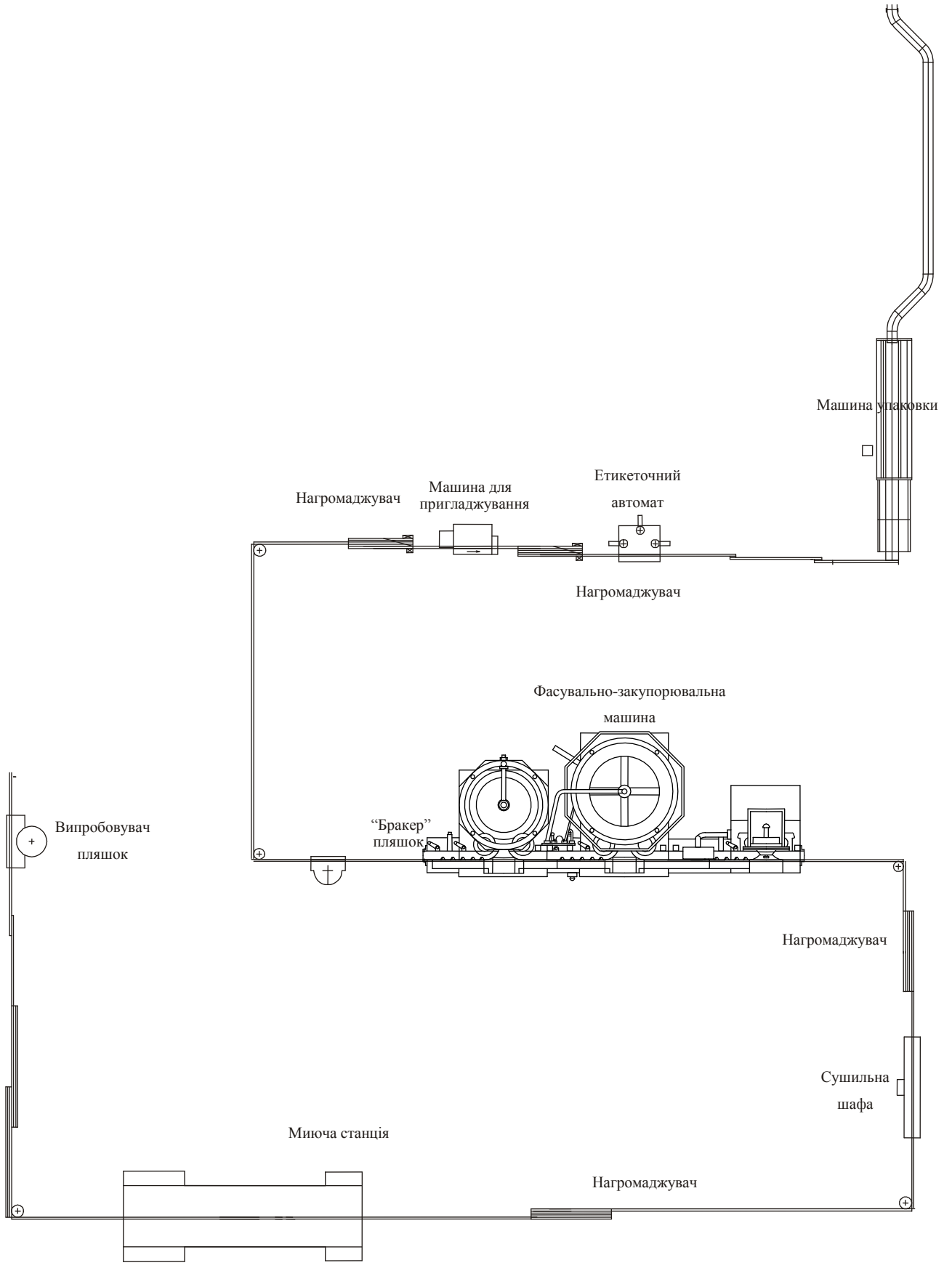


Рисунок 2.1 - Схема конвеєра

Автоматизований комплекс виготовлення, розливу та закупорення газованої води складається з 8 автоматів і 10 транспортерів між ними. Деякі транспортери мають нагромаджувачі, вони служать для того, що б поступаючі пляшки до автомата завжди були в запасі.

Такі нагромаджувачі служать свого роду буфером, які наповнюються при зупинці або пониженні продуктивності наступного автомата, а коли автомат включається і набирає обороти, пляшки з кишені продовжують поступати до автомата. Так само при недостатньому навантаженні, нагромаджувачі дають запас продукції, для того, щоб автомати не простоювали.

Завдяки таким нагромаджувачам процес виробництва стає безперервним і кількість збоїв зменшується. В деяких місцях нагромаджувачі відсутні, оскільки довжина транспортерів дозволяє накопичувати пляшки без них. Але проте виробничий процес далекий від ідеального, по цьому для підвищення показників і зменшення витрат пропонується дана система.

Під час поступання пляшок на перший транспортер (викладаються вантажниками вручну) вони рухаються до автомата «Випробувач пляшок». Після «Випробувача пляшок», пляшка потрапляє в «Миючу станцію», а потім в „Сушильну шафу”.

Помиті і висушені пляшки потрапляють в „Фасувально-закупорювальну машину” де здійснюється виготовлення та розлив солодкої води в пляшки, а також закупорення останніх.

Для перевірки продукції на брак далі у виробничому ланцюжку пляшка потрапляє в «Бракеровочний» автомат, там пляшка захоплюється і перевертається, за пультом автомата сидить контролер, який перевіряє пляшку на брак (замутнення солодкої води, сторонні речовини в пляшці, цілісність пляшки).

Наступним етапом виробництва є наклеювання етикетки. Останнім етапом виробництва є упаковка пляшок в коробки. Для цього

використовується «Пакувальний» автомат, в якому збирається дванадцять пляшок укладається в коробку, запечатується.

2.1. Загальний опис конструкції фасувально-закупорювальної машини

Машина складається з трьох послідовно розташованих машин зв'язаних між собою проміжними секціями із загальним приводом, убудований у станину закупорювальної машини. Привід складається з електродвигуна і проміжного вала. Вузли приводів основних машин (черв'ячні редуктори) з'єднані між собою карданними валами. Через всю машину проходить конвеєрна стрічка для подачі і відводу пляшок. Рідини надходять у резервуари машин по трубопроводах.

Трубопроводи і резервуари оснащені оглядовим склом для візуального спостереження.

Магістралі стиснутого повітря і вуглекислого газу підключаються до машини через пульт пневматичний. Конструкція пульта дозволяє регулювати і підтримувати постійні величини тисків газів, що надходять у машину.

Крім того, на пульті знаходяться прилади для візуального спостереження за тисками газів і фасованої рідини. Оперативне керування машиною здійснюється через пульт електричний. На пульті розміщаються кнопкові місця керування і сигнальні лампи. Сигнальні лампи відображають стан двигунів і блокувань.

Для зручності подачі кроненпробки в бункер, передня частина основи закупорювальної машини має сходинки, що відкидаються, які у закритому положенні є частиною фасаду. Машина має пристосування для прокручування приводу вручну.

Чисті порожні пляшки від пляшкомийної машини суцільним потоком

подаються конвеєрною стрічкою до турнікета фасувальної машини для сиропу. У турнікеті пляшки розділяються шнеком 2 по одній подаються у вхідну турнікетну зірочку. Турнікетна зірочка переносить пляшку з конвеєрної стрічки на столик піднімального пристрою ротора. Піднімальний пристрій піднімає пляшку. При русі нагору пляшка упирається віночком горловини в уловлювач рухливої частини фасувального пристрою, центрується в ньому і займає крайнє верхнє положення. Пляшка заповнюється сиропом. Після зливу дози пляшка із сиропом опускається і вихідною турнікетною зірочкою переноситься з ротора на конвеєрну стрічку. Стрічка переміщає пляшку до фасувальної машини для газованої води.

Шнек і турнікетна зірочка переносять пляшку з конвеєрної стрічки на піднімальні пристрої машини. Піднімальні пристрої переміщають пляшки нагору. Пляшка центрується й ущільнюється у фасувальному пристрої і займає крайнє верхнє положення. У цьому положенні пляшка заповнюється газованою водою до заданого рівня. Потім наповнена пляшка опускається і вихідною турнікетною зірочкою знімається з ротора фасувальної машини на конвеєрну стрічку і направляється до шнека закупорювальної машини. Шнек і турнікетна зірочка передають пляшку на стіл ротора.

Закупорювальний патрон машини, опускаючись по копіру на пляшку, центрує і надягає на віночок горловини пляшки кроненпробку. Кулачки патрона сходяться, обжимаючи кроненпробку навколо віночка. Потім закупорювальний патрон, піднімаючись по копіру нагору, звільняє пляшку, вихідна турнікетна зірочка знімає закупорену пляшку зі столу ротора і переносить її на конвеєрну стрічку.

Фасувальна машина для сиропу

Станина машини виконана у вигляді збірної рами з плитою, установленої на гвинтових ніжках. У місці установки черв'ячного редуктора кріпиться щит. Попереду на станину машини на двох стійках

установлюється турнікет. Турнікет складається зі шнека та двох турнікетних зірочок. Шнек утримує напір пляшок на конвеєрній стрічці, розділяє пляшки і забезпечує правильну подачу пляшок у западину вхідної турнікетної зірочки. Турнікетні зірочки передають пляшки з конвеєрної стрічки на столики піднімальних пристроїв, що автоматично відключає привід машини у випадку неполадок у роботі. На станину машини монтується на стійці стіл ротора. Стіл із установленими на ньому плунжерами піднімальними обертається на упорному підшипнику і підшипнику ковзання. Підшипник ковзання утворений нерухомою стійкою і валом стола ротора. На столі ротора встановлюється опорна стійка з видатковим резервуаром і пристроями для фасовки сиропу. Усередині резервуара знаходиться поплавковий пристрій для утримання і регулювання рівня сиропу в резервуарі. Контроль рівня сиропу в резервуарі здійснюється візуально через оглядове скло.

Фасувальна машина для газованої води.

Станина, турнікет і ротор фасувальної машини для газованої води конструктивно аналогічні відповідним вузлам фасувальної машини для сиропу. Стіл ротора має 24 піднімальні пристрої.

На стіл ротора встановлюються три стійки з видатковим резервуаром. На резервуар монтуються 24 фасувальні пристрої і розподільний пристрій, усередині резервуара - два поплавкових клапани.

Розподільний пристрій служить для подачі в обертові частини машини вуглекислого газу і стиснутого повітря. Поплавкові клапани служать для утримання постійного заданого тиску і рівня напою в резервуарі. Для візуального спостереження за рівнем рідини в резервуарі маються два оглядових вікна. Для зливу з резервуара рідини в днище передбачений спускний кран. На станині машини встановлені чотири стійки, зв'язані між собою кільцем. На кільце монтуються огородження, блокувальні пристрої і гребінка, що керують роботою фасувальних

пристроїв. Крім того на кільце встановлюється пульт пневматичний. Пульт призначений для автоматичної підтримки необхідного робочого тиску вуглекислого газу, подаваного в резервуар у залежності від тиску напою. Машина фасувальна має живильну трубу, що з'єднує цехову магістраль напою з машиною. Живильна труба має вхідний вентиль і оглядовий ліхтар.

Циліндр піднімальний

Конструкція циліндра піднімального показана на слайді 3. Циліндр складається з труби 2 і штока 4. На трубу 2 монтуються зверху столик 1, знизу кронштейн 5 з роликом 6 і двома сухарями 3. Сухарі 3 сковзають по циліндричної направляючій і утримують від розвороту кронштейн 5 з роликом 6, шток 4 за допомогою заглушки 11 закріплений до колектора повітря.

Втулка 10 закріплена до столу ротора гайкою 12 із гвинтами 13.

При подачі стиснутого повітря в циліндр труба 2 разом зі столиком 1 піднімається нагору. Стіл ротора обертаючи з підйомником підводить ролик 6 до нерухомого копіра. Опускаючи по копіру ролик 6 разом із трубою 2 і столиком 1 опускається в крайнє нижнє положення.

Подальший поворот столу ротора звільняє ролик 6 від впливу нерухомого копіра і під дією стиснутого повітря труба 2 зі столиком 1 займає верхнє крайнє положення. Цикл повторюється. Демонтаж циліндра робити над виїмкою плити в такий спосіб: Вивернути столик 1, вийняти пружину, відвернути кріплення і відпустити втулку 10 униз, зняти верхню вісь кронштейна 5 і підняти сухарі 3 з паза кронштейна 5, вивернути зі штока 4 заглушку 11, циліндр повернути і з нахилом вийняти з отвору столу ротора.

Фасувальний пристрій

Пристрій фасування призначений для наповнення пляшок газованою водою в умовах надлишкового тиску.

Фасувальний вузол Б7-ВНК (слайд 4) належить до виносних клапанних систем і працює за принципом шатрового наливу з контролем рівня. Основним елементом конструкції є трубчастий корпус 14, обладнаний двома штуцерами. Верхній штуцер забезпечує сполучення з газовою порожниною витратного резервуара, тоді як нижній підключений до рідинної зони. До нижньої частини корпуса 14 за допомогою накидної гайки приєднується склянка 5 рідинного клапана 7. На зовнішній циліндричній поверхні склянки закріплюється опорна втулка 6, у якій виконані отвори для встановлення штанг 3 із центрувальними елементами та упором 13 механізму скидання тиску. Центрувальний вузол включає уловлювач 1, розетку 17 та ущільнювальне кільце 2.

Усередині трубчастого корпуса змонтований рідинний клапан, конструкція якого складається з повітряної трубки 4 із конусом 15, клапана 7 і трубки 9. Трубка 9 виконує роль напрямного елемента для стебла 10, яке працює як газовий або повітряний клапан. У нижній частині стебла розташоване кільце клапана 8, а верхня його частина через палець і вилку 12 з'єднується із зовнішньою зірочкою 11. Робочий стан клапанів забезпечується пружинами 16 та 18. Регулювання жорсткості пружин виконане таким чином, щоб під час розливу, коли тиск над і під клапанами однаковий, вони залишались відкритими. Якщо пляшка руйнується, різниця між атмосферним тиском і тиском у газовій зоні резервуара створює зусилля, достатнє для автоматичного закривання клапанів.

Процес наповнення пляшки здійснюється послідовно. Під час підйому пляшки піднімальним циліндром її горлечко входить в уловлювач 1, де виконується центрування відносно повітряної трубки 4. Після цього пляшка притискається до ущільнювального кільця 2, яке герметизує з'єднання з конусом склянки 5 та ізолює внутрішній об'єм пляшки від зовнішнього середовища. Під час обертання разом із резервуаром фасувальний механізм проходить через блокувальний пристрій із двома упорами. Перший упор переводить зірочку 11 у відповідне положення,

завдяки чому вилка 12 піднімається догори. Разом із нею переміщується стебло 10 з клапаном 8, відкриваючи подачу вуглекислого газу з газової зони резервуара у пляшку. У результаті цього тиск усередині пляшки зрівнюється з тиском у резервуарі.

Після цього другий упор встановлює вилку 12 та зірочку 11 у проміжне положення. У такому режимі стебло 10 більше не утримується вилкою та підтримується у відкритому стані дією пружини 12. Подібна схема дозволяє газовому клапану 8 автоматично перекриватися у випадку пошкодження пляшки. Після вирівнювання тисків рідинний клапан 7 відкривається під дією пружини 10. Газована вода надходить із витратного резервуара через клапан 7 та кільцевий проміжок між повітряною трубкою 4 і сідлом склянки 5 до конуса 15. За рахунок конічної поверхні формується шатровий потік, який рівномірно розподіляє рідину по стінках пляшки. Вуглекислий газ, витіснений рідиною, через бічні отвори повітряної трубки повертається назад у газову порожнину резервуара. Після перекриття рідиною бічних отворів повітряної трубки подача газованої води автоматично припиняється.

У подальшій частині циклу фасувальний механізм під час обертання взаємодіє з другим блокувальним пристроєм. Він переводить вилку 12 у крайнє нижнє положення шляхом повороту зірочки 11. Унаслідок цього примусово закриваються рідинний та газовий клапани, а пляшка ізолюється від рідинної й газової зон резервуара. Далі пристрій проходить повз гребінку з роликами. Ролики натискають на упор 13 механізму скидання тиску, забезпечуючи короткочасне сполучення внутрішньої порожнини пляшки з атмосферою. Завдяки цьому тиск у пляшці плавно знижується до атмосферного значення. Після завершення процесу декомпресії пляшка опускається та відокремлюється від фасувального вузла, який повертається у вихідне положення.

Для очищення повітряної трубки 4 від залишків рідини передбачено режим продування. Спеціальний механізм за допомогою упорів

короткочасно відкриває та закриває газовий клапан 8. Потік вуглекислого газу, що проходить через повітряну трубку 4 із газової порожнини резервуара, видаляє залишки газованої води через бічні отвори у навколишнє середовище.

Щоб забезпечити усталену роботу фасувального пристрою необхідно робити фасування газованої води при надлишковому тиску, рівному тиску сатурування води при постійному рівні рідини у видатковому резервуарі.

У машині прийнята одноканальна схема, при якій рівність тисків, у газовій і рідинній зонах видаткового резервуара забезпечується регулятором тиску на постійний рівень рідини - двома поплавковими клапанами. Під час роботи машини рівень рідини у видатковому резервуарі за рахунок витрати знижується. Зниження рівня рідини викликає відкривання клапана повітряного 3, тобто з'єднання газової зони видаткового резервуара з атмосферою і закриття газового клапана. Тиск у газовій зоні видаткового резервуара зменшується, рівень рідини підвищується. Підвищення рівня рідини у видатковому резервуара викликає відкривання газового клапана і закривання клапана повітряного. Вуглекислий газ через газовий клапан надходить у видатковий резервуар. Відновлюється рівновага тисків газової і рідинної зон. Підйом рівня газованої вода припиняється.

Витрата газованої води змушує рівень знижуватися. Цикл роботи поплавкових клапанів і регулятора тиску повторюється. З взаємодії поплавкових клапанів і регулятора тиску видно, що у видатковому резервуарі встановлюється рухлива рівновага, при якому рівень і розмах коливань рівня газованої вода залежить від точності настроювання поплавкових клапанів.

Закупорювальна машина

Закупорювальна машина складається зі станини, столу турнікета, привода машини і бункера. Станина машини, виконана у виді звареної

конструкції з куточків, установлено на гвинтових ножах (домкратах). Усередині підстави, на плиті змонтований привод машини. Привод складається з електродвигуна і проміжного вала, зв'язаних між собою клиноременною передачею. На підставу машини встановлюється стіл турнікета. Стіл турнікета складається зі шнека, двох турнікетних зірочок, напрямних і огородження. Шнек стримує напір пляшок на конвеєрній стрічці, розділяє їхній і забезпечує подачу пляшок по однієї в западину вхідної турнікетної зірочки. Турнікетні зірочки служать для передачі пляшок з конвеєрної стрічки на стіл ротора машини і назад. На підставі машини монтується закупорювальна головка, що включає привод машини, виконаний у виді черв'ячного редуктора з вертикальною нерухомою стійкою, закріпленої в корпус редуктора.

На нерухомій стійці монтується стіл ротора, корпус з закупорювальними патронами, копір, бункер зі складальним пристроєм і лоток. Усі механізми, закріплені на стійці, можуть переміщатися у вертикальній площині про допомогу різьбової стяжки і черв'ячної пари. На стійці, зверху, установлена втулка з циліндричною шестернею і копіром. На втулці, через завзятий підшипник, що подав корпус патронотримача з закупорювальними патронами. Патронотримач через шпонку зв'язаний зі столом ротора машини, що одержує обертання від черв'ячного колеса редуктора.

Закупорювальні патрони, крім обертання навколо нерухомої стійки, одержують від нерухомого копіра зворотно-поступальний рух у вертикальній площині. Зверху до втулки кріпиться *кожух* і зварений бункер зі складальним диском для кроненпробки.

На фасадній стороні кожуха закріплений шарнірно лоток. Лоток служить для передачі кроненпробки від складального диска бункера до приймача закупорювального патрона.

Складальний диск

Автоматична орієнтація кроненпробки відносно віночка горла пляшки здійснюється складальним диском наступним чином.

Кроненпробки в бункері по похилому дну сковзують в кільцевий канал складального диска. Канал утворений фланцем і кільцем, з'єднаними між робою спеціальними профільними пальцями. Пальці поділяють кільцевий канал на 36 профільних отворів. Кроненпробка проходить через профільні отвори только в одному строго визначеному положенні.

Кроненпробка, що пройшла через профільні отвори, попадає в бічний канал і під дією власної ваги зсковзує до каналу в лоток і далі по лотку в приймач закупорювального патрона. У випадку, коли немає витрати набраної кроненпробки, складальний диск при обертанні може потягнути з бічного каналу кроненпробку нагору і зам'яти. Для запобігання зминання кроненпробки на бічному каналі встановлений підпружинений скидач, що перешкоджає пересуванню кроненпробки нагору.

Як додатковий засіб, що перешкоджає зминанню кроненпробки, що застрягло в складальному диску, установлена зірочка, що повертає кроненпробку в бункер.

На валу складального диска мається міститься і храповий пристрій. Фрикціон забезпечує регулювання зусилля обертання складального диска. Храповий пристрій допускає прискорене обертання складального диска вручну.

Закупорювальний патрон

Закупорювальні патрони, крім обертання з патронотримачем, мають зворотно-поступальний рух від нерухомого копіра, по якому при обертанні обкатуються ролики патронів. При русі патрона вниз розетка центрує віночок горлечка пляшки, а власник 3 притискає до нього кроненпробку, встановлену в приймачі. Подальше опускання патрона вниз забезпечує заглублення притиснутої до віночка горлечка пляшки кроненпробки в розрізні конусні кулачки. При заглибленні відбувається обтиснення

кроненпробки навколо віночка горлечка пляшки.

Радіально спрямоване зусилля обтиснення сприймається спіральною пружиною, що щільно охоплює розрізні кулачки. Зусилля, спрямоване вертикально, за допомогою ряду деталей патрона передається на нерухомий копір. У момент закінчення обтиснення замикаючі клямки виштовхуються до центра патрона і звільняють корпус патрона. При наявності в патроні пляшки по висоті більше нормальній рух патрона вниз продовжується до кінця ходу за рахунок амортизації пружини, що охороняє укупорену пляшку від руйнування. При зворотному ході патрона нагору амортизаційна пружина ставить патрон у вихідне положення, а пружина виштовхує закупорену пляшку з патрона.

2.2. Технологічний розрахунок блоку фасування сиропу

Висота підпору з дозатора до кінця наповнювальної трубки: $H := 0.23(м)$

Об'єм сиропу: $V_c := 0.1\ (л)$

Коефіцієнт витрати, що враховує геометричні параметри труби та сиропу [12]: $\phi := 0.98$

Швидкість витікання сиропу:

$w := \phi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$, $w = 2.082\ \ (м/с)$

Геометричні параметри труби:

зовнішній діаметр: $dtr := 0.015(м)$

товщина стінки: $\delta tr := 0.0008\ (м)$

Площа поперечного перерізу труби у внутрішньому діаметрі:

$$F := \frac{\pi}{4} \cdot (dtr - 2 \cdot \delta tr)^2, \quad F = 1.41 \times 10^{-4}\ \ (м^2)$$

Секундна витрата сиропу:

$V' := w \cdot F$, $V' = 2.936 \times 10^{-4}$ (м^3)

Тривалість наповнення однієї пляшки:

$$\tau := \frac{0.001 \cdot V_c}{V'}, \quad \tau = 0.341 \quad (с)$$

Частота обертання каруселі із 12 закупорювальними патронами при продуктивності 3300 пл/год складає:

$$n_ф := \frac{3300}{12 \cdot 3600}, \quad n_ф = 0.076 \quad \left(\frac{1}{с}\right)$$

Кутова швидкість обертання:

$$\omega_ф := 2 \cdot (\pi \cdot n_ф), \quad \omega_ф = 0.48 \quad (рад/с)$$

Тривалість одного повного оберта каруселі:

$$t := \frac{1}{n_ф}, \quad t = 13.091 \quad (с)$$

Тривалість перебування пляшки на каруселі фасування:

$$t_ф := t \cdot \frac{360 - 52}{360}, \quad t_ф = 11.2 \quad (с)$$

Необхідний кут коруселі для наповнення пляшки:

$$\alpha_н := \frac{\tau}{t} \cdot 360, \quad \alpha_н = 9.367$$

Приймаємо кут наповнення

$$\alpha_{заг} := 20$$

Сумарна тривалість наповнення:

$$\tau_{заг} := \frac{\alpha_{заг}}{360} \cdot t, \quad \tau_{заг} = 0.727 \quad (с)$$

Подальша пооперaційна розбивка циклу роботи фасувального агрегату для сиропу представлена на рисунку 2.2.

Тривалість встановлення пляшки і піднімання столика:

$$t_1 := t \cdot \frac{144}{360}, \quad t_1 = 5.236 \quad (c)$$

Тривалість наповнення пляшки:

$$t_2 := \tau_{заг}, \quad t_2 = 0.727 \quad (c)$$

Тривалість опускання столика і зняття пляшки:

$$t_3 := t \cdot \frac{144}{360}, \quad t_3 = 5.236 \quad (c)$$

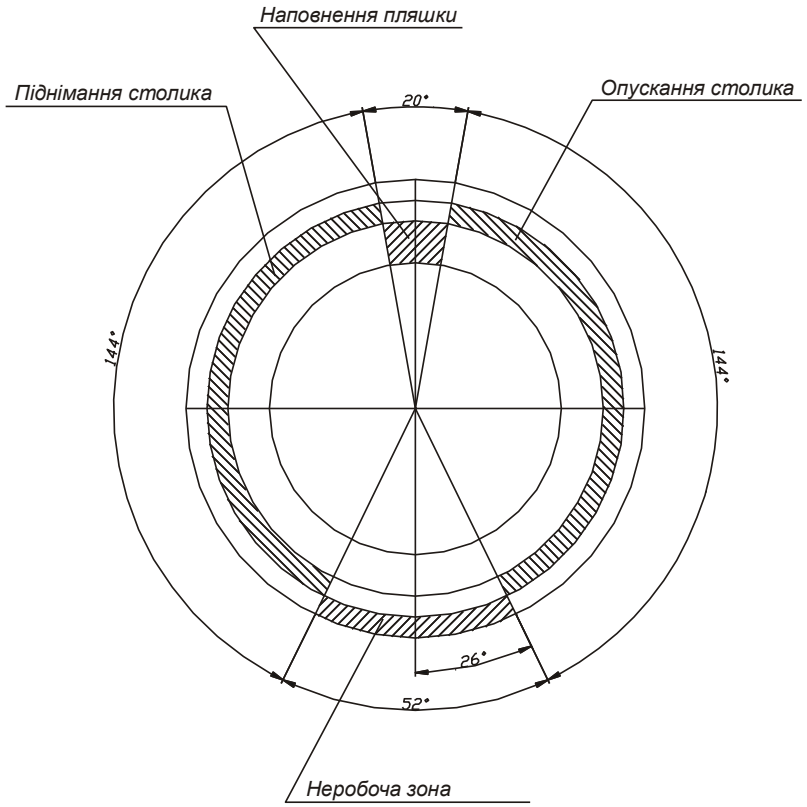


Рисунок 2.2 - Циклограма роботи фасувального агрегату для сиропу

Холостий пробіг:

$$t_4 := t \cdot \frac{52}{360}, \quad t_4 = 1.891 \quad (c)$$

Перевірка.

$$t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 13.091 \quad (c)$$

Лінійна швидкість пляшки:

$$\upsilon = \frac{\pi \cdot D}{t}$$

де $D := 0.75$м - діаметр розміщення центра пляшки.

$$\upsilon := \frac{\pi \cdot D}{t}, \quad \upsilon = 0.18 \quad \left(\frac{м}{c}\right)$$

2.3. Технологічний розрахунок блоку фасування води

Висота підпору з дозатора до кінця наповнювальної трубки:

$H := 0.28(м)$

Об'єм сиропу:

$V := 0.4(л)$

Коефіцієнт витрати, що враховує механічні параметри труби та води [12]:

$\phi := 0.98$

$g := 9.81(м/с^2)$

Швидкість витікання води:

$w := \phi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$

$w = 2.297 \ (м/с)$

Геометричні параметри зазору:

зовнішній діаметр: $dz := 0.0078(м)$

внутрішній діаметр: $dw := 0.0048(м)$

Площа поперечного перерізу труби по внутрішньому діаметру:

$$F := \frac{\pi}{4} \cdot \left(dz^2 - dw^2\right), \quad F = 2.969 \times 10^{-5} \ (м^2)$$

Секундна витрата води:

$$V' := w \cdot F, \quad V' = 6.819 \times 10^{-5} \ (м^3)$$

Тривалість наповнення однієї пляшки:

$$\tau := \frac{0.001 \cdot V}{V'}, \quad \tau = 5.866 \quad (с)$$

Частота обертання каруселі із 24 закупорювальними патронами при продуктивності 3300 пл/год складає:

$$n_в := \frac{3300}{24 \cdot 3600}, \quad n_в = 0.038 \quad \left(\frac{1}{с}\right)$$

Кутова швидкість обертання:

$$\omega_в := 2 \cdot (\pi \cdot n_в), \quad \omega_в = 0.24 \quad (рад/с)$$

Тривалість одного повного оберту каруселі:

$$t := \frac{1}{n_в}, \quad t = 26.182 \quad (с)$$

Тривалість перебування пляшки на каруселі фасування:

$$t_в := t \cdot \frac{360 - 44}{360}, \quad t_в = 22.982 \quad (с)$$

Необхідний кут каруселі для наповнення пляшки:

$$\alpha_н := \frac{\tau}{t} \cdot 360, \quad \alpha_н = 80.654$$

Тривалість наповнення пляшки CO_2 згідно технологічних норм [12, 13, 14] складає:

$$\tau_г := 0.5(с)$$

Відповідно необхідний кут повороту каруселі на наповнення газом:

$$\alpha_г := \frac{\tau_г}{t} \cdot 360, \quad \alpha_г = 6.875$$

Загальний кут повороту на наповнення:

$$\alpha_{заг} := \frac{\tau + \tau_г}{t} \cdot 360, \quad \alpha_{заг} = 87.529$$

Приймаємо кут наповнення

$\alpha_{заг} := 120$

Сумарна тривалість наповнення:

$$\tau_{заг} := \frac{\alpha_{заг}}{360} \cdot t, \quad \tau_{заг} = 8.727 \ \text{(с)}$$

Подальша пооперaційна розбивка циклу роботи фасувального агрегату для сиропу представлена на на рисунку 2.3.

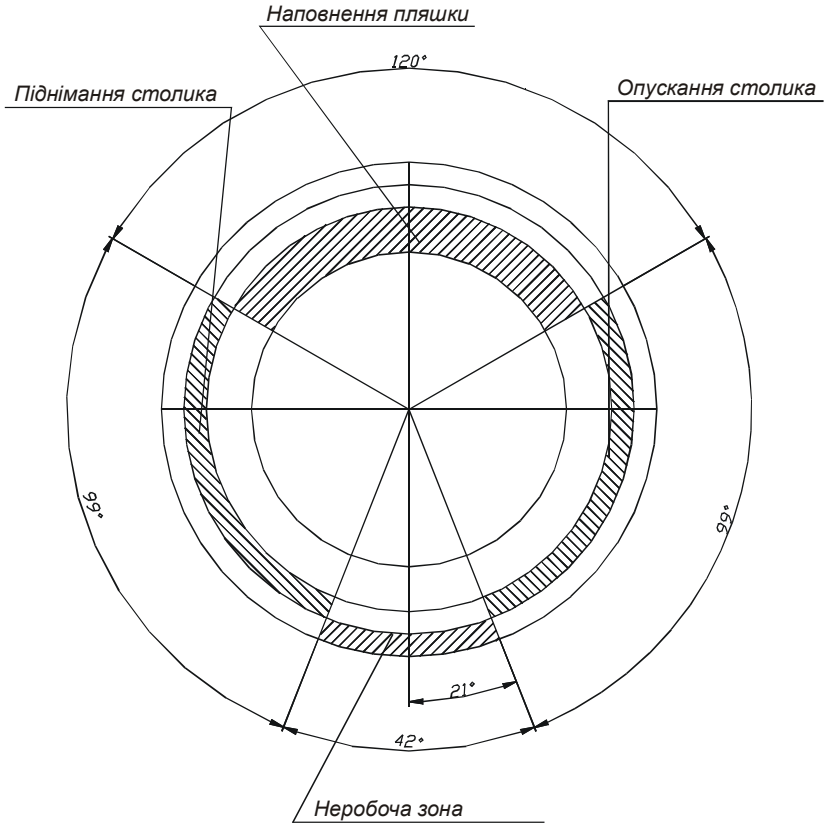


Рисунок 2.3 - Циклограма роботи фасувального агрегату для води.

Тривалість встановлення пляшки на столик і піднімання столика:

$$t_1 := t \cdot \frac{99}{360}, \quad t_1 = 7.2 \ \text{(с)}$$

Тривалість наповнення пляшки:

$$t_2 := \tau_{заг}, \quad t_2 = 8.727 \ \text{(с)}$$

Тривалість опускання столика і зняття пляшки зі столика:

$$t_3 := t\cdot\frac{99}{360}, \quad t_3 = 7.2 \quad (с)$$

Холостий пробіг:

$$t_4 := t\cdot\frac{42}{360}, \quad t_4 = 3.055 \quad (с)$$

Перевірка.

$$t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 26.182 \quad (с)$$

$$t = 26.182 \quad (с)$$

Лінійна швидкість пляшки:

$$\upsilon = \frac{\pi\cdot D}{t}$$

де $D := 0.975м$ - діаметр розміщення центра пляшки.

$$\upsilon := \frac{\pi\cdot D}{t}, \quad \upsilon = 0.117 \quad \left(\frac{м}{с}\right)$$

2.4. Технологічний розрахунок блоку закупорення

Виберемо режими роботи закупорювальної машини

Частота обертання каруселі із 4 закупорювальними патронами при продуктивності 3300 пл/год складає:

$$n_{зк} := \frac{3300}{4\cdot 3600}, \quad n_{зк} = 0.229 \quad \left(\frac{1}{с}\right)$$

Тривалість одного повного оберта каруселі:

$$t := \frac{1}{n_{зк}}, \quad t = 4.364 \quad (с)$$

Кутова швидкість обертання:

$$\omega_{зк} := 2\cdot\left(\pi\cdot n_{зк}\right), \quad \omega_{зк} = 1.44 \quad (рад/с)$$

Тривалість перебування пляшки на каруселі закупорення:

$$t_ф := t \cdot \frac{360 - 80}{360}, \quad t_ф = 3.394 \quad (с)$$

Циклограма роботи блока закупорення представлена на рисунку 2.4.

Тривалість встановлення пляшки на столик:

$$t_1 := t \cdot \frac{20}{360}, \quad t_1 = 0.242 \quad (с)$$

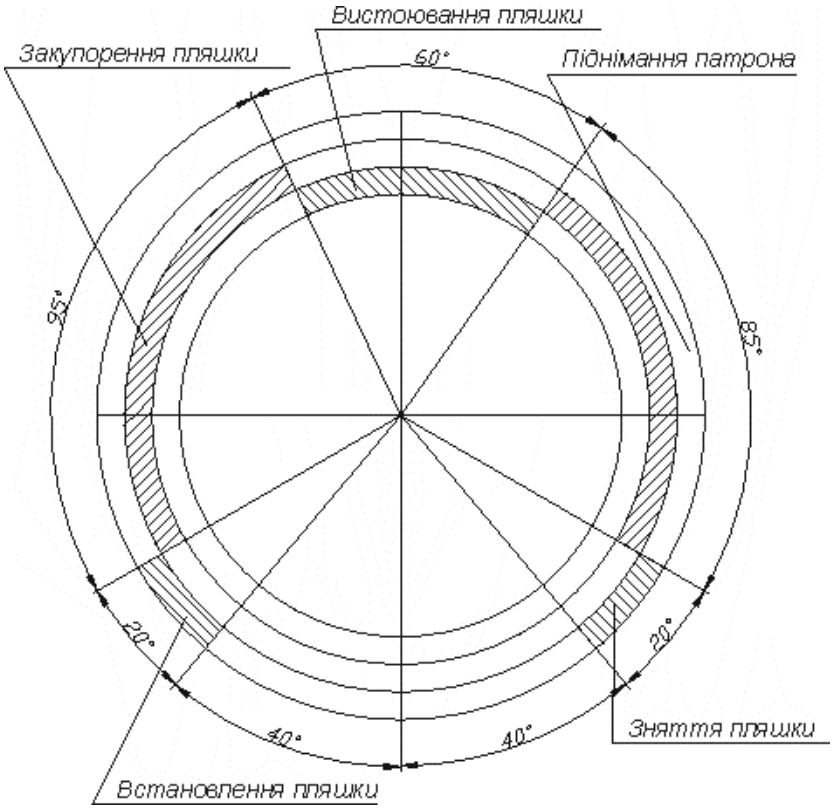


Рисунок 2.4 - Циклограма роботи блока закупорення

Тривалість руху закупорення:

$$t_2 := t \cdot \frac{95}{360}, \quad t_2 = 1.152 \quad (с)$$

Тривалість перебування патрона в нижній мертвій точці:

$$t_3 := t \cdot \frac{60}{360}, \quad t_3 = 0.727 \quad (с)$$

Тривалість підйому патрона:

$$t_4 := t \cdot \frac{85}{360}, \quad t_4 = 1.03 \quad (с)$$

Тривалість знімання пляшки зі столика:

$$t_5 := t \cdot \frac{20}{360}, \quad t_5 = 0.242 \quad (с)$$

"Холостий" рух:

$$t_6 := t \cdot \frac{80}{360}, \quad t_6 = 0.97 \quad (с)$$

Перевірка.

$$t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 = 4.364 \quad (с)$$

$$t = 4.364 \quad (с)$$

Лінійна швидкість пляшки:

$$\upsilon = \frac{\pi \cdot D}{t}$$

де $D := 0.29$м - діаметр розміщення центра пляшки.

$$\upsilon := \frac{\pi \cdot D}{t}, \quad \upsilon = 0.209 \quad \left(\frac{м}{с}\right)$$

Розрахунок кута спуску та кута підйому напрямляючої закупорювального патрона

Кут спуску розрахуємо з залежності:

$$\alpha_{сп} = \operatorname{acos}\left(\frac{L_{сп}}{\sqrt{h_{сп}^{\ 2} + L_{сп}^{\ 2}}}\right)$$

де $h_{сп} := 0.08$ (м) - вертикальний рух закупорювального патрона при закупоренні.

$$L_{сп} := \frac{D}{2} \cdot \pi \cdot \frac{95}{180}, \quad L_{сп} = 0.24 \quad (м)$$ - горизонтальний рух закупорювального патрона при закупоренні.

$$\alpha_{сп} := \operatorname{acos}\left(\frac{L_{сп}}{\sqrt{h_{сп}^{2} + L_{сп}^{2}}}\right), \qquad \alpha_{сп} = 0.321 \text{ (рад)},$$

$$\alpha_{сп} \cdot \frac{180}{\pi} = 18.405$$

Кут підйому розрахуємо з залежності:

$$\alpha_{під} = \operatorname{acos}\left(\frac{L_{під}}{\sqrt{h_{під}^{2} + L_{під}^{2}}}\right)$$

де $h_{під} := 0.08$ (м) - вертикальний рух закупорювального патрона після закупорення.

$L_{під} := \frac{D}{2} \cdot \pi \cdot \frac{85}{180}$, $L_{під} = 0.215$ (м) - горизонтальний рух закупорювального патрона після закупорення.

$$\alpha_{під} := \operatorname{acos}\left(\frac{L_{під}}{\sqrt{h_{під}^{2} + L_{під}^{2}}}\right), \quad \alpha_{під} = 0.356 \text{ (рад)}, \quad \alpha_{під} \cdot \frac{180}{\pi} = 20.4$$

2.5. Розрахунок затрат потужності на приведення в рух каруселей фасування та закупорення

Для приведення в рух каруселі фасування необхідно подолати момент тертя в опорі.

Для приведення в рух каруселі закупорення необхідно подолати момент тертя в опорі, затратити енергію на закупорення пробки, а також на піднімання закупорювального патрона.

Також необхідно затратити енергію на роботу подаючих зірочок і роботу знімаючих зірочок.

Карусель фасування сиропу масою $m_{ф} := 670$ кг опирається на

упорний підшипник із діаметром розміщення кульок $d := 0.165$ (м). Коефіцієнт тертя кочення 0.02.

Необхідний момент на приведення в рух каруселі:

$$T_ф := 0.02 \cdot m_ф \cdot 9.81 \cdot \frac{d}{2}, \quad T_ф = 10.845 \quad (Н*м)$$

Необхідна потужність:

$$N_ф := \frac{T_ф \cdot \omega_ф}{1000}, \quad N_ф = 5.205 \times 10^{-3} \quad (кВт)$$

Карусель фасування газованої води масою $m_в := 670$ кг опирається на упорний підшипник із діаметром розміщення кульок $d := 0.165$ (м). Коефіцієнт тертя кочення 0.02.

Необхідний момент на приведення в рух каруселі:

$$T_в := 0.02 \cdot m_в \cdot 9.81 \cdot \frac{d}{2}, \quad T_в = 10.845 \quad (Н*м)$$

Необхідна потужність:

$$N_в := \frac{T_в \cdot \omega_в}{1000}, \quad N_в = 2.603 \times 10^{-3} \quad (кВт)$$

Карусель закупорення масою $m_{зк} := 524$ кг опирається на упорний підшипник із діаметром розміщення кульок $d := 0.165$ (м). Коефіцієнт тертя кочення 0.02.

Необхідний момент на приведення в рух каруселі:

$$T_{зк} := 0.02 \cdot m_{зк} \cdot 9.81 \cdot \frac{d}{2}, \quad T_{зк} = 8.482 \quad (Н*м)$$

Необхідна потужність:

$$N_{зк} := \frac{T_{зк} \cdot \omega_{зк}}{1000}, \quad N_{зк} = 0.012 \quad (кВт)$$

Розрахуємо затрати потужності на закупорення. Розрахункова схема закупорення представлена на рисунку 2.5.

Розрахункове максимальне зусилля для закупорення кроненпробки, що застосовується у даному випадку, $F_{прит} := 600$ (Н).

Із врахуванням втрат на тертя (f=0,2) патрона до гільзи при вертикальному русі воно складе

$$F_{прит} := F_{прит} \cdot 1.2, \quad F_{прит} = 720 \quad (Н)$$

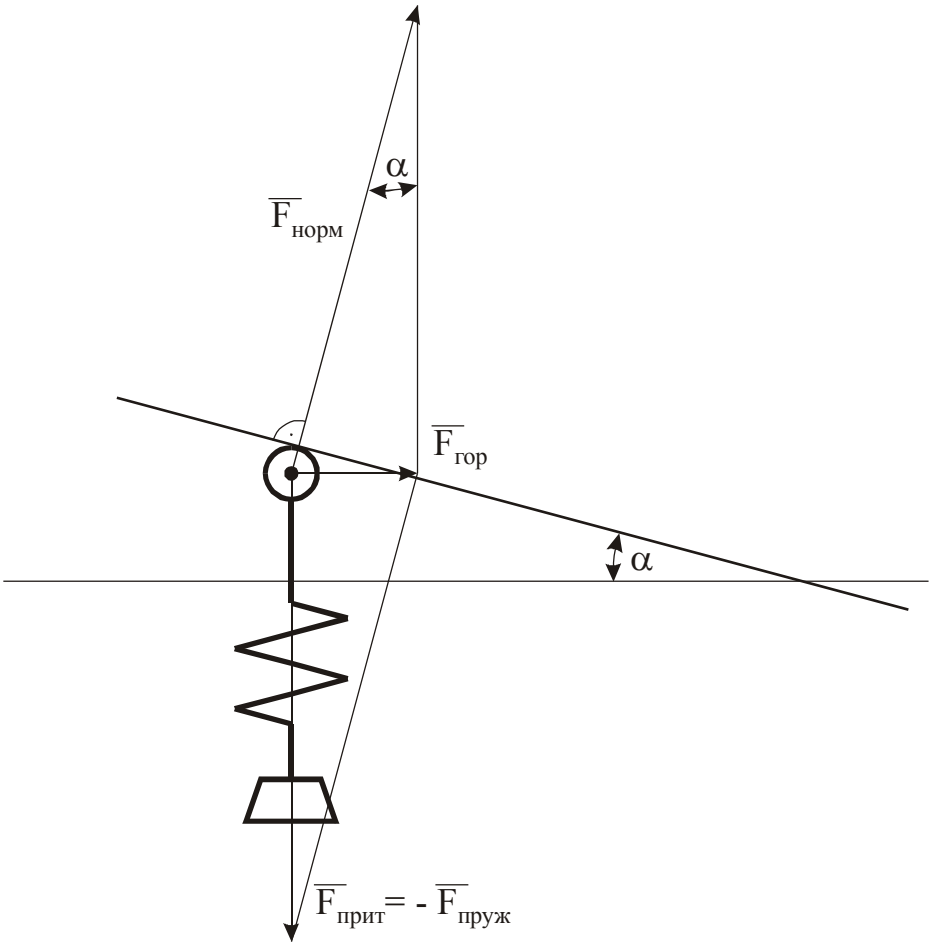


Рисунок 2.5 - Розрахункова схема механізму закупорювання

Горизонтальне зусилля із врахуванням втрат на тертя в двох напрямляючих роликах 0,1:

$$F_{гор} := (1 + 0.1 \cdot 2) \cdot F_{прит} \cdot \tan(\alpha_{сп}), \quad F_{гор} = 287.498 \quad (Н)$$

Діаметр розміщення патронів: $d_{патр} := 0.29$ (м)

Кутова частота обертання стола: $\omega_{зк} = 1.44$ (рад/с)

Момент, затрачений на обертання одного патрона:

$$T_{закуп} := F_{гор} \cdot \frac{d_{патр}}{2}, \quad T_{закуп} = 41.687 \quad (Н*м)$$

Необхідна потужність:

$$N_{закуп} := \frac{T_{закуп} \cdot \omega_{зк}}{1000}, \quad N_{закуп} = 0.06 \quad (кВт)$$

Затрати потужності на підйом пляшки розрахуємо аналогічно.

Маса патрона складає $m_{патр} := 21$ (кг).

Вертикальне зусилля: $F_{прит} := m_{патр} \cdot 9.81, \quad F_{прит} = 206.01$ (Н)

Із врахуванням втрат на тертя (f=0,2) патрона до гільзи при вертикальному русі воно складе

$$F_{прит} := F_{прит} \cdot 1.2, \quad F_{прит} = 247.212 \quad (Н)$$

Горизонтальне зусилля із врахуванням втрат на тертя в двох напрямляючих роликах 0,1:

$$F_{гор} := (1 + 0.1 \cdot 2) \cdot F_{прит} \cdot \tan(\alpha_{під}), \quad F_{гор} = 110.326 \quad (Н)$$

Діаметр розміщення патронів: $d_{патр} := 0.29$ (м)

Кутова частота обертання стола: $\omega_{зк} = 1.44$ (рад/с)

Момент, затрачений на обертання одного патрона:

$$T_{підй} := F_{гор} \cdot \frac{d_{патр}}{2}, \quad T_{підй} = 15.997 \quad (Н*м)$$

Необхідна потужність:

$$N_{підй} := \frac{T_{підй} \cdot \omega_{зк}}{1000}, \quad N_{підй} = 0.023 \quad (кВт)$$

Розрахуємо затрати потужності на транспортування патронів горизонтальними ділянками.

Горизонтальна складова буде визначатись як сума сил тертя по верхній і нижній сторонах напрямляючої утримуючих роликів від

нормальної складової, яка рівна вазі закупорювального патрона.

$$F_{гор} := m_{патр} \cdot 9.81 \cdot (0.1 \cdot 2), \quad F_{гор} = 41.202 \quad (Н)$$

Момент, затрачений на обертання одного патрона:

$$T_{об.п} := F_{гор} \cdot \frac{d_{патр}}{2}, \quad T_{об.п} = 5.974 \quad (Н*м)$$

Необхідна потужність:

$$N_{об.п} := \frac{T_{об.п} \cdot \omega_{зк}}{1000}, \quad N_{об.п} = 8.602 \times 10^{-3} \quad (кВт)$$

Сумарний момент на роботу блоку закупорення:

$$T_{бл.закуп} := T_{закуп} + T_{підй} + T_{об.п} \cdot 2, \quad T_{бл.закуп} = 69.633 \quad (Н*м).$$

Сумарна потужність на закупорення:

$$N_{бл.закуп} := N_{закуп} + N_{підй} + N_{об.п} \cdot 2, \quad N_{бл.закуп} = 0.1 \quad (кВт)$$

2.6. Вибір кінематичної схеми фасувально-закупорювальної машини

Кінематику машини (слайд 1) виконаємо таким чином: від електродвигуна через клинопасову передачу 2-3 обертання передається на проміжний вал 1. Від вала 1 через ланцюгову передачу 4-5 обертається черв'ячна пара 6-7 закупорювальної машини, а через гнучкі муфти - черв'ячна пара 24-25 редуктора фасувальної машини.

Від черв'ячної шестерні 7 через циліндричні шестерні 10-11 обертання передається валу 14 з турнікетною зірочкою 12, а через циліндричні шестерні 20-21 і конічні шестерні 22-23 обертання передається на вал IX складального диска. Шнек 40 закупорювальної машини обертається від вала 8 через циліндричні шестерні 13-15-16 і конічні шестерні 17-18.

Від черв'ячної шестерні 25 обертається турнікетна зірочка 27, а через циліндричні шестерні 26-28 обертання одержує вал XI ротора фасувальної машини. Шнек 41 фасувальної машини одержує обертання від шнека 40 закупорювальної машини через гнучкі муфти і вал VII.

Від черв'ячної шестерні 33 обертається турнікетна зірочка 35 фасувальної машини для сиропу. Вал XVI ротора одержує обертання через циліндричні шестерні 34-36. Вал XIV шнека одержує обертання від шнека 41 фасувальної машини для газованої води через гнучкі муфти.

2.7. Кінематичний розрахунок фасувально-закупорювальної машини

Потрібно розрахувати основні технічні показники кінематичної схеми машини.

Попередньо вибираємо електричний двигун із частотою обертання 700 об/хв.

Частота обертання двигуна

$$\omega_{дв} := \frac{700 \cdot \pi}{30}, \quad \omega_{дв} = 73.304 \ \text{(рад/с)}$$

Передатне число ланцюгової передачі $u_{I...II} := 0.567$

Передатне число черв'ячного редуктора на стіл закупорення: $u_{II...III} := 45$

Необхідне передатне число пасової передачі приводу

$$u_{0...I} := \frac{\omega_{дв}}{\omega_{зк} \cdot u_{I...II} \cdot u_{II...III}}, \quad u_{0...I} = 1.995$$

Приймаємо $u_{0...I} := 2$

Необхідне передатне число пари закупорювальна карусель-подаюча зірочка при кількості зубців на ній 4, що рівно кількості закупорювальних

голівок:

$$u_{III...IV} := 1, \quad u_{III...V} := 1$$

Сумарне передатне число пари карусель закупорення-наборний диск при необхідній кутовій частоті обертання останнього:

$$\omega_{IX} := \frac{121 \cdot \pi}{30}, \quad \omega_{IX} = 12.671 \text{ (рад/с)}$$

$$u_{III...IX} := \frac{\omega_{зк}}{\omega_{IX}}, \quad u_{III...IX} = 0.114$$

Розділимо дане передатне число на циліндричну прямозубу і конічну передачі:

Передатне число циліндричної передачі: $u_{III...VIII} := 0.25$

Необхідне передатне число конічної передачі: $u_{VIII...IX} := \frac{u_{III...IX}}{u_{III...VIII}}$,

$u_{VIII...IX} = 0.455$.

Необхідна частота обертання подаючих шнеків при продуктивності машини 3300 пл/год:

$$n_{шн} := \frac{3300}{60}, \quad n_{шн} = 55 \text{ (об/хв)},$$

$$\omega_{шн} := \frac{n_{шн} \cdot \pi}{30}, \quad \omega_{шн} = 5.76 \text{ (рад/с)}$$

Необхідне сумарне передатне число:

$$u_{V...VII} := \frac{\omega_{зк}}{\omega_{шн}}, \quad u_{V...VII} = 0.25$$

Для передачі крутного моменту застосуємо дві циліндричні передачі та одну конічну. Передаточні відношення передач:

Передатне число другої циліндричної передачі: $u_{V'...VI} := 0.825$

Передатне число конічної передачі: $u_{VI...VII} := 0.75$

Необхідне передатне число першої циліндричної передачі:

$$u_{V...V'} := \frac{u_{V...VII}}{u_{V'...VI} \cdot u_{VI...VII}}, \quad u_{V...V'} = 0.404$$

Сумарне передатне число привідного механізму блоку розливу сиропу:

$$u_{I...XVI} := \frac{\omega_{дв}}{\omega_{ф} \cdot u_{0...I}}, \quad u_{I...XVI} = 76.364$$

Застосуємо черв'ячний редуктор для передавання крутного моменту на подаючі зірочки із кількістю зубів 8. Необхідне передатне число редуктора:

$$u_{I...XV} := \frac{\omega_{дв}}{\omega_{ф} \cdot u_{0...I}} \cdot \frac{8}{12}, \quad u_{I...XV} = 50.909$$

Приймаємо $u_{I...XV} := 51$

Передатне число від подаючих зірочок на карусель:

$$u_{XV...XVI} := \frac{u_{I...XVI}}{u_{I...XV}}, \quad u_{XV...XVI} = 1.497$$

Приймаємо $u_{XV...XVI} := 1.5$

Для фасувальної каруселі газованої води застосуємо аналогічну схему із врахуванням більшого число столиків (24).

Сумарне передатне число привідного механізму блоку розливу води:

$$u_{I...XI} := \frac{\omega_{дв}}{\omega_{в} \cdot u_{0...I}}, \quad u_{I...XI} = 152.727$$

Застосуємо черв'ячний редуктор для передачі крутного моменту на подаючі зірочки із кількістю зубів 8. Необхідне передатне число редуктора:

$$u_{I...X} := \frac{\omega_{дв}}{\omega_в \cdot u_{0...I}} \cdot \frac{8}{24}, \quad u_{I...X} = 50.909$$

Приймаємо $u_{I...X} := 51$

Передатне число від подаючих зірочок на карусель:

$$u_{X...XI} := \frac{u_{I...XI}}{u_{I...X}}, \quad u_{X...XI} = 2.995$$

Приймаємо $u_{X...XI} := 3$

Розрахуємо необхідну для приведення в рух машини потужність електродвигуна.

К.к.д. підшипника: $\eta_{підш} := 0.98$ [2, 14, 15]

К.к.д. циліндричної передачі $\eta_{ц.пер} := 0.85$ [3–6]

К.к.д. ланцюгової передачі $\eta_{лнц} := 0.85$

К.к.д. пасової передачі $\eta_{пс\,п} := 0.8$

К.к.д. черв'ячного редуктора $\eta_{ч.ред} := 0.7$

Передана на фасуваннння для блоку фасування сиропу та блоку фасування води потужність:

$$N_{фв} := \frac{N_ф}{\eta_{підш}^{5} \cdot \eta_{ц.пер} \cdot \eta_{ч.ред}} + \frac{N_в}{\eta_{підш}^{5} \cdot \eta_{ц.пер} \cdot \eta_{ч.ред}}$$

$N_{фв} = 0.015$ (кВт)

Передана на закупорення потужність:

$$N_{зкп} := \frac{N_{бл.закуп}}{\eta_{підш}^{2} \cdot \eta_{ч.ред} \cdot \eta_{лнц}}, \quad N_{зкп} = 0.175 \text{ (кВт)}$$

Потужність на фасування та закупорення на електричному двигуні:

$$N_{фвзкп} := \frac{N_{зкп} + N_{фв}}{\eta_{підш}^{2}\,\eta_{псп}}, \qquad N_{фвзкп} = 0.247 \quad (кВт)$$

Із врахуванням затрат на транспортування пляшок, підйом столиків, пускові моменти вибиріємо потужність електродвигуна Nк=1,25 (кВт)

Із врахуванням можливих динамічних двократних перевантажень вибираємо двигун 4A75L4U3 із наступними параметрами:

Потужність електродвигуна: $N_{е.дв} := 1.25$ (кВт)

Частота обертання $n_{е.дв} := 700$ (об/хв)

Частота обертання вала (ЧОВ) I: $n_I := \frac{n_{е.дв}}{u_{0...I}}, \quad n_I = 350$ (об/хв)

Кутова швидкість вала (КШВ) I: $\omega_I := \frac{\pi \cdot n_I}{30}, \quad \omega_I = 36.652$ (рад/с)

ЧОВ II: $n_{II} := \frac{n_I}{u_{I...II}}, \quad n_{II} = 617.284$ (об/хв)

КШВ II: $\omega_{II} := \frac{\pi \cdot n_{II}}{30}, \quad \omega_{II} = 64.642$ (рад/с)

ЧОВ III: $n_{III} := \frac{n_{II}}{u_{II...III}}, \quad n_{III} = 13.717$ (об/хв)

КШВ III: $\omega_{III} := \frac{\pi \cdot n_{III}}{30}, \quad \omega_{III} = 1.436$ (рад/с)

ЧОВ IV: $n_{IV} := \frac{n_{III}}{u_{III...IV}}, \quad n_{IV} = 13.717$ (об/хв)

КШВ IV: $\omega_{IV} := \frac{\pi \cdot n_{IV}}{30}, \quad \omega_{IV} = 1.436$ (рад/с)

ЧОВ V: $n_V := \frac{n_{III}}{u_{III...V}}$ $n_V = 13.717$ (об/хв),

КШВ V: $\omega_V := \frac{\pi \cdot n_V}{30}$ $\omega_V = 1.436$ (рад/с),

Частота обертання шестерні V': $n_{V'} := \frac{n_V}{u_{V...V'}}$ $n_{V'} = 33.951$ (об/хв),

Кутова швидкість шестерні V': $\omega_{V'} := \frac{\pi \cdot n_{V'}}{30}$ $\omega_{V'} = 3.555$ (рад/с),

ЧОВ VI: $n_{VI} := \frac{n_{V'}}{u_{V'...VI}}$ $n_{VI} = 41.152$ (об/хв),

КШВ VI: $\omega_{VI} := \frac{\pi \cdot n_{VI}}{30}$ $\omega_{VI} = 4.309$ (рад/с),

ЧОВ VII: $n_{VII} := \frac{n_{VI}}{u_{VI...VII}}$ $n_{VII} = 54.87$ (об/хв),

КШВ VII: $\omega_{VII} := \frac{\pi \cdot n_{VII}}{30}$ $\omega_{VII} = 5.746$ (рад/с),

ЧОВ XIV: $n_{XIV} := n_{VII}$, $n_{XIV} = 54.87$ (об/хв),

КШВ XIV: $\omega_{XIV} := \frac{\pi \cdot n_{XIV}}{30}$ $\omega_{XIV} = 5.746$ (рад/с),

ЧОВ VIII: $n_{VIII} := \frac{n_{III}}{u_{III...VIII}}$ $n_{VIII} = 54.87$ (об/хв),

КШВ VIII: $\omega_{VIII} := \frac{\pi \cdot n_{VIII}}{30}$ $\omega_{VIII} = 5.746$ (рад/с),

ЧОВ IX: $n_{IX} := \frac{n_{VIII}}{u_{VIII...IX}}$ $n_{IX} = 120.713$ (об/хв),

КШВ IX: $\omega_{IX} := \frac{\pi \cdot n_{IX}}{30}$, $\omega_{IX} = 12.641$ (рад/с)

ЧОВ X: $n_X := \frac{n_I}{u_{I...X}}$, $n_X = 6.863$ (об/хв)

КШВ X: $\omega_X := \frac{\pi \cdot n_X}{30}$, $\omega_X = 0.719$ (рад/с)

ЧОВ XI: $n_{XI} := \frac{n_X}{u_{X...XI}}$, $n_{XI} = 2.288$ (об/хв)

КШВ XI: $\omega_{XI} := \frac{\pi \cdot n_{XI}}{30}$, $\omega_{XI} = 0.24$ (рад/с)

ЧОВ XII: $n_{XII} := n_X$, $n_{XII} = 6.863$ (об/хв)

КШВ XII: $\omega_{XII} := \frac{\pi \cdot n_{XII}}{30}$, $\omega_{XII} = 0.719$ (рад/с)

ЧОВ XV: $n_{XV} := \frac{n_I}{u_{I...XV}}$, $n_{XV} = 6.863$ (об/хв)

КШВ XV: $\omega_{XV} := \frac{\pi \cdot n_{XV}}{30}$, $\omega_{XV} = 0.719$ (рад/с)

ЧОВ XVI: $n_{XVI} := \frac{n_{XV}}{u_{XV...XVI}}$, $n_{XVI} = 4.575$ (об/хв)

КШВ XVI: $\omega_{XVI} := \frac{\pi \cdot n_{XVI}}{30}$, $\omega_{XVI} = 0.479$ (рад/с)

ЧОВ XVII: $n_{XVII} := n_{XV}$, $n_{XVII} = 6.863$ (об/хв)

КШВ XVII: $\omega_{XVII} := \frac{\pi \cdot n_{XVII}}{30}$, $\omega_{XVII} = 0.719$ (рад/с)

2.8. Опис роботи системи управління

Для реалізації системи необхідне наступне обладнання: дев'ять частотних перетворювачів і промислових контролерів, двадцять сім оптико-механічних давачів. Давачі і частотні перетворювачі вже є на транспортерах і тому витрат на їх придбання не вимагається.

Для спрощення управління весь конвеєр логічно розбитий на ланки по кількості автоматів. В кожну ланку входить транспортер, наступний за ним автомат, давачі на транспортері, частотний перетворювач і промисловий контролер даної ланки.

До кожного частотного перетворювача певної ланки підключаються всі двигуни одного транспортера. Сам частотний перетворювач підключається до промислового контролера. Давачі встановлюються на транспортері і так само підключаються до промислового контролера. Кожний контролер підключається до одного комп'ютера, який координує роботу всієї системи. Давачі на транспортері встановлені так, щоб перший давач показував наявність пляшок на початку транспортера, другий давач показував виникнення перевантаження, для цього він встановлюється перед «кишенею» транспортера або, якщо «кишеня» відсутня, то давач встановлюється на відстані 2/5 від наступного автомата. Кожний транспортер має свою середню швидкість. Ця швидкість визначається дослідним шляхом. Так само для кожного транспортера задається межа регулювання, тобто максимальна і мінімальна швидкість на якій транспортер повинен працювати. Аналогічна, тільки продуктивність в (пл./год) є і у автоматів. Дані швидкості не є граничними, а вибираються такими, що б конвеєр в середньому працював на одній швидкості. Таким чином, є два варіанти встановлення швидкостей і рівнів продуктивностей:

1. Знайти якнайменше кратне між швидкостями всіх транспортерів, а так само продуктивностями автоматів і встановити їх на дане значення.

2. Для кожного автомата і транспортера задавати індивідуальну

швидкість і продуктивність.

В першому випадку всі транспортери працюватимуть на одній швидкості, автомати матимуть одну продуктивність. При цьому деякі автомати працюватимуть майже на граничній швидкості, а інші працюватимуть з перевантаженнями, що приводитиме до зношення і руйнування перевантажених автоматів.

В другому випадку транспортери матимуть індивідуальну швидкість, автомати - індивідуальну продуктивність, тобто кожний автомат буде налаштований так, що при включенні він працюватиме з так званою «крейсерською швидкістю». Це означає, що знос механізмів і споживання енергії автомата буде мінімальним, а продуктивність максимальна, що є ідеальним станом роботи. При даному варіанті настройки швидкостей виникає наступна проблема. Оскільки деякі автомати мають продуктивність нижчу, ніж інші, то ці автомати перевантажуватимуться продукцією (пляшками). Для вирішення даної проблеми пропонується використовувати дану систему регулювання.

2.8.1. Алгоритм функціонування основної системи

Алгоритм системи складається з трьох частин:

- алгоритм основної системи
- алгоритм системи регулювання та управління
- алгоритм системи контролю та діагностики конвеєра.

Після подачі оператором із комп’ютера команди на запуск конвеєрної лінії програмне забезпечення формує пакет службових даних та передає його контролерам у послідовному порядку. До складу пакета входять значення робочих змінних, а також керуючі команди (NC). Для пояснення принципу роботи достатньо розглянути один контролер, оскільки всі вони функціонують за однаковим алгоритмом.

Таблиця 2.1. Опис змінних і констант

Ім'я змінної	Опис змінної	Значення змінної
ZA(i)	Заборона на включення автомата	0,1
ZT(i)	Заборона на включення транспортера	0,1
AP(i)	Стан живлення автомата	0,1
TP(i)	Стан живлення транспортера	0,1
KP	Стан живлення конвеєра	0,1
DN(i)	Початковий давач	0,1
DP(i)	Давач перевантаження	0,1
DK(i)	Кінцевий давач	0,1
VAMIN(i)	Швидкість автомата мінімальна	Значення залежить від автомата або транспортера, приймається умовно
VAMID(i)	Швидкість автомата середня	
VAMAX(i)	Швидкість автомата максимальна	
VTMIN(i)	Швидкість транспортера мінімальна	
VTMID(i)	Швидкість транспортера середня	
VTMAX(i)	Швидкість транспортера максимальна	
VA(i)	Швидкість автомата поточна	
VT(i)	Швидкість транспортера поточна	
NC(i)	Значення команди	0,1,2,3

Після приймання інформації контролер виконує обробку отриманих даних та записує значення у відповідні внутрішні змінні. Подальша робота визначається значенням прийнятої команди (таблиця 2.2).

При отриманні значення «0» система вважає, що жодної команди не подано. Якщо конвеєр уже перебуває в роботі, активується «система регулювання». У випадку, коли конвеєр вимкнений, контролер переходить до початкового циклу очікування нових даних.

Якщо значення дорівнює «1», це означає надходження команди зупинки конвеєра. За умови, що лінія працює, контролер вимикає

транспортер та автомат, після чого повертається у вихідний стан. Якщо обладнання вже зупинене, виконується лише повернення до початкового режиму.

Таблиця 2.2. Значення команд

Номер команди	**Значення команди**
0	Немає команди
1	Виключення конвеєра
2	Включення конвеєра із запуском його перевірки
3	Включення конвеєра без запуску його перевірки

Значення «2» відповідає команді запуску конвеєра з попередньою перевіркою його технічного стану. У такому випадку активується «система перевірки і діагностики», змінній КР присвоюється значення одиниці, після чого запускається «система регулювання».

Значення «3» означає запуск конвеєра без виконання попереднього тестування. При цьому змінна КР також набуває значення «1», а система переходить безпосередньо до режиму регулювання.

2.8.2. Алгоритм роботи системи контролю та діагностики конвеєра

Після активації режиму перевірки контролер задає транспортеру середню швидкість обертання та здійснює його запуск. Після цього формується часовий інтервал тривалістю 10 с. Практична експлуатація показала, що цього часу достатньо для виявлення можливих механічних дефектів транспортера. Після завершення затримки транспортер вимикається, а система переходить до наступного етапу контролю.

Наступною виконується перевірка автомата. Для цього контролер встановлює середнє значення швидкості його роботи та запускає автомат у холостому режимі. Далі формується затримка тривалістю 25 с. Експлуатаційний досвід підтвердив, що зазначеного часу достатньо для виявлення механічних несправностей або порушень роботи механізмів автомата. Після завершення перевірки автомат вимикається, а система переходить до режиму регулювання та керування.

2.8.3. Алгоритм функціонування системи регулювання та керування

Система регулювання складається з двох основних етапів. На першому етапі здійснюється аналіз стану давачів, а на другому – безпосереднє керування та регулювання роботи транспортера.

Кожний транспортер обладнаний трьома давачами. Давач DN є початковим і встановлюється таким чином, щоб реагувати на вихід пляшки з попереднього автомата. Після появи пляшки на транспортері давач формує сигнал високого рівня, логічно рівний «1». Це свідчить про наявність або надходження пляшок на транспортер.

Давач DP використовується для контролю перевантаження транспортера. Його встановлюють перед накопичувальною «кишенею». У момент заповнення цієї ділянки пляшками давач генерує сигнал високого рівня, тобто логічну «1», що свідчить про перевантаження транспортера.

Кінцевий давач DK розташовується в завершальній частині транспортера перед автоматом. Його встановлюють таким чином, щоб після входження останньої пляшки в автомат формувався сигнал низького рівня, логічно рівний «0».

Усі три давачі працюють у двійковому режимі та можуть формувати лише два логічні стани: «0» або «1». На основі комбінацій цих сигналів складається таблиця істинності (таблиця 2.3), яка характеризує поточний

стан транспортера та використовується системою керування для прийняття рішень.

Таблиця 2.3. Стани давачів

Номер варіанту	Значення датчика DN	Значення датчика DP	Значення датчика DK
1	0	0	0
2	0	0	1
3	0	1	0
4	0	1	1
5	1	0	0
6	1	0	1
7	1	1	0
8	1	1	1

Провівши аналіз даних цієї таблиці, можна виділити варіанти регулювання:

-№1. При такому стані давачів відбувається перевірка включення транспортера і автомата. Якщо вони включені, то відбувається виключення транспортера і автомата даної ланки, оскільки пляшок на транспортері немає або вони ще не поступили до автомата.

-№2. При такому стані давачів відбувається зменшення продуктивності автомата оскільки пляшок на транспортері мало і збільшення швидкості руху транспортера для прискорення подачі пляшок до автомата.

-№3. При такому стані давачів відбувається зменшення продуктивності автомата, оскільки пляшок на транспортері мало і збільшення швидкості руху транспортера для прискорення подачі пляшок

до автомата.

-№4. При такому стані давачів відбувається збільшення продуктивності автомата, оскільки транспортер перевантажений пляшками і зменшення швидкості руху транспортера для сповільнення подачі пляшок до автомата, тим самим знижуючи тертя між пляшками і транспортером.

-№5 . При такому стані давачів відбувається перевірка включення транспортера і автомата. Якщо вони вимкнені, то відбувається включення транспортера і автомата даної ланки, оскільки на транспортері з'явилася перша пляшка або пляшки продовжили надходження. Відбувається зменшення продуктивності автомата, оскільки пляшок на транспортері мало і збільшення швидкості руху транспортера для прискорення подачі пляшок до автомата.

-№6. При такому стані давачів відбувається перевірка включення транспортера і автомата. Якщо вони вимкнені, то відбувається включення транспортера і автомата даної ланки, оскільки на транспортері з'явилася перша пляшка або пляшки продовжили надходження. Відбувається зменшення продуктивності автомата, оскільки пляшок на транспортері мало і збільшення швидкості руху транспортера для прискорення подачі пляшок до автомата.

-№7. При такому стані давачів відбувається перевірка включення транспортера і автомата. Якщо вони вимкнені, то відбувається включення транспортера і автомата даної ланки, оскільки на транспортері з'явилася перша пляшка або пляшки продовжили надходження. Відбувається зменшення продуктивності автомата, оскільки пляшок на транспортері мало і збільшення швидкості руху транспортера для прискорення подачі пляшок до автомата.

-№8. При такому стані давачів відбувається перевірка включення транспортера і автомата. Якщо вони включені, то відбувається виключення транспортера і автомата даної ланки, оскільки пляшок на транспортері немає або вони ще не поступили до автомата. Відбувається збільшення

продуктивності автомата, оскільки транспортер перевантажений пляшками і зменшення швидкості руху транспортера для уповільнення подачі пляшок до автомата, тим самим знижуючи, тертя між пляшками і транспортером.

При такій системі регулювання теоретично з'являються дві помилкові ситуації:

1. Якщо на транспортер не поступають пляшки або надходження їх не достатнє, а транспортер працює на максимальній швидкості руху і автомат працює з мінімальною продуктивністю. В цьому випадку контролер відключає транспортер і автомат і чекає, поки стан давачів не зміниться.

2. Якщо на транспортері кількість пляшок перевищує норму, відбувається перевантаження транспортера, а транспортер працює з мінімальною швидкістю руху і автомат працює з максимальною продуктивністю. То в цьому випадку вимикаються автомат і транспортер попередньої ланки і встановлюється заборона на включення.

Система регулювання функціонує за послідовним алгоритмом. На першому етапі виконується зчитування та аналіз станів усіх давачів, що задіяні в контролі транспортера. Після цього, на основі отриманих логічних сигналів, визначається відповідний режим регулювання, який підходить для поточної ситуації, та виконується безпосередній процес керуючого впливу на систему.

Після завершення регулювальних дій система переходить у вихідний режим і повертається до виконання алгоритму «основної системи» для подальшого циклічного контролю та обробки команд.

2.9. Аналіз та вибір основних складових системи управління

До складу основного обладнання системи входять:

- контролери;
- частотні перетворювачі (інвертори);
- давачі.

При виборі виробника пристроїв враховувалось перш за все те, що на лінії виробництва газованих напоїв встановлені промислові контролери, давачі і частотні перетворювачі фірми OMRON, тому решта необхідного обладнання вибрано саме цієї фірми. При виборі конкретних моделей обладнання враховувався набір сервісних функцій, які відповідають вимогам до роботи.

Основною вимогою до давачів є те, щоб вони могли сигналізувати проходження напівпрозорого об'єкту. Компанія OMRON має широку лінійку оптико-механічних давачів, а для даного випадку так само є давачі, спеціально пристосовані для детектування напівпрозорих об'єктів методом "відбивання світлового потоку від рефлектора", таким є давач серії E3Z-B. Цей давач відмінно підходить для детектування пляшок об'ємом від 500мл до 2л. Він має підстроювання чутливості. Добре видимий промінь червоного кольору полегшує настройку.

Основними вимогами до промислових контролерів для даної системи є:

- об'єм пам'яті не менше 30 Кбайт.
- можливість підключення через порт RS 232.
- установка додаткових блоків розширення.
- не менше 5 цифрових входів і виходів.
- не менше 2 аналогових входів і виходів.

Компанія OMRON пропонує великий спектр різних програмованих промислових контролерів різних типів, класів і характеристик. Оскільки на всіх автоматах конвеєра встановлені промислові контролери компанії OMRON CQM1H і дані контролери підходять по технічних характеристиках для використання в даній системі, то при виборі контролера я вирішив використовувати саме цю модель. Ця модель має

високу швидкість виконання базових функцій (0.357 мкс.), також достатню кількість пам'яті для зберігання програми і всі необхідні порти вводу виводу.

Вибір частотних перетворювачів для системи управління не складний, оскільки на конвеєрі вже встановлено сім пристроїв з 11 що вимагаються (по числу транспортерів). Це пристрої компанії OMRON серії SYSDRIVE 3G3JV, що задовольняють вимоги функціонування системи. Основні вимоги:

- потужність двигуна 1.5 кВт.
- наявність аналогового входу регулювання швидкості.
- струмове регулювання.
- вхідна напруга: трьохфазна, 380 В.

Система складається з 10 частотних перетворювачів, 27 оптико-механічних давачів і 9 програмованих промислових контролерів. Давачі встановлюються по 3 штуки на кожний транспортер окрім останнього вихідного. Частотні перетворювачі встановлюються біля кожного транспортера, і підключаються до двигунів транспортера відповідно. До кожного промислового контролера підключається частотний перетворювач, три давачі і контролер автомата відповідно. Всі контролери підключаються до послідовного порту RS – 232.

2.10. Вибір та опис роботи давачів

У цьому підрозділі подані технічні характеристики основних типів фотоелектричних давачів, що випускаються міжнародною корпорацією Omron.

Технологічні рішення від компанії Omron вдало поєднують у собі дві ключові переваги: максимальну експлуатаційну надійність та доступну вартість, що досягається завдяки інтеграції передових науково-технічних

розробок і сучасних методів виробництва.

Завдяки своїй універсальності, фотоелектричні сенсори знаходять ефективне застосування практично у будь-якому промисловому секторі. Виконуючи роль безконтактних комутаційних пристроїв, вони успішно вирішують завдання автоматичного підрахунку одиниць продукції, фіксації наявності, точного позиціонування та багатьох інших операцій на автоматизованих лініях. Окрім суто індустріальних об'єктів, такі оптичні датчики активно впроваджуються і в побутову сферу – тобто всюди, де виникає потреба в автоматизації процесів керування без залучення людського фактора.

Беручи за основу безпосередній спосіб детектування цільового предмета, оптичні датчики Omron класифікують на чотири базові категорії.

При використанні схеми з перетином променя (Through-beam) блоки випромінювача та приймача конструктивно рознесені у два окремі корпуси, які монтуються чітко один навпроти одного в межах допустимої робочої зони. Функціональна суть методу полягає в тому, що передавач безперервно генерує світловий потік, спрямований на оптичний елемент приймача. Щойно цей світловий канал перериваєтся будь-яким непрозорим предметом, що опинився між блоками, приймач миттєво фіксує зникнення сигналу та оперативно змінює логічний стан свого виходу.

У варіанті з віддзеркаленням від рефлектора (Retroreflective) елементи випромінювання та прийому світла скомпоновані всередині єдиного загального корпусу. Для забезпечення працездатності системи на певній відстані навпроти лінзи датчика закріплюють спеціальний пасивний відбивач (рефлектор). Світловий імпульс, який надсилає джерело, відбивається від граней рефлектора і повертає свій вектор назад у приймальну матрицю. Якщо на шляху променя з'являється перешкода, що блокує це повернення, сенсор негайно реєструє зміну умов та перемикає вихідний сигнал.

Метод дифузного віддзеркалення від об'єкту (Diffuse reflective) також

передбачає розміщення приймального та передавального модулів в одному спільному корпусі. Проте в процесі експлуатації роль відбивача починає виконувати будь-яке стороннє тіло, що перетинає контрольовану зону. Щойно надісланий промінь натрапляє на поверхню предмета, світло розсіюється, і його певна частина повертається назад на чутливу матрицю, що слугує для датчика командою до миттєвої зміни вихідного комутаційного стану.

Своєю чергою, фіксоване віддзеркалення від об'єкту (Definite reflective) теж реалізоване в моноблочному використанні приймача і передавача. Ці пристрої здатні функціонувати у двох альтернативних конфігураціях: «нормальній» або в режимі «зони». Робота у звичайному форматі аналогічна до класичного дифузного методу, проте вирізняється значно вищим рівнем чутливості до найменших відхилень від первинних налаштувань на об'єкт. Така особливість дозволяє успішно виявляти дефекти на кшталт здутої кришки на пляшці з молочною продукцією або недостатнього рівня заповнення герметичної вакуумної упаковки з харчовими продуктами. Якщо ж активовано режим обмеження по зоні, з'являється можливість чітко задати просторові межі віддаленості в рамках робочої дистанції, поза якими пристрій повністю ігноруватиме будь-які сторонні предмети та фонові завади.

З огляду на цільове призначення, весь спектр фотоелектричних датчиків прийнято розділяти на великі класи обладнання загального вжитку та пристрої спеціального виконання. Спеціалізовані модифікації розробляються під виконання чітко окресленого, вузькоспрямованого спектра технологічних завдань. До таких операцій належать, наприклад, розпізнавання кольорових друкарських міток на рулонних матеріалах, фіксація контрастних меж розділення середовищ, визначення наявності тонкої етикетки на повністю прозорій пластиковій чи скляній тарі тощо. При цьому у лінійках певних типів пристроїв присутні конкретні серійні моделі, які за своїми характеристиками одночасно належать до спеціальної

підгрупи, через що аналогічні базові серії датчиків можуть згадуватися під час класифікації у різних категоріях промислового каталогу.

Фотодатчики можуть використовувати випромінювання в інфрачервоному, червоному або зеленому діапазоні спектра. Формування вихідного керуючого сигналу здійснюється за дискретним принципом «є/немає» (логічна 1 або 0). Основне призначення таких давачів полягає у виявленні наявності об’єкта на заданій відстані.

Дальність спрацювання залежить від конструктивного виконання та методу детекції і може змінюватися приблизно в межах від 0,3 мм до 50 м. Вибір конкретного типу давача визначає як максимальну робочу відстань, так і точність виявлення.

Вихідні сигнали фотодатчиків реалізуються у різних електричних виконаннях, зокрема транзисторному, тиристорному або релейному (контактному). Типові варіанти схем підключення таких давачів зазвичай наводяться окремо у відповідних технічних матеріалах або документації.

Основна частина типів фотоелектричних давачів Omron виконана в прямокутних корпусах: металевих або пластикових. Вони можуть бути "вертикального" виконання або "горизонтального", залежно від того, як розташована оптична система на корпусі давача. Деякі типи мають підковоподібну форму корпуса або циліндричну, яка у свою чергу ділиться на "осьову" і "радіальну" (рисунок 2.6).

В окрему групу по своїх конструктивних особливостях можна виділити типи давачів з оптоволокном (рисунок 2.7). В цьому випадку електрична частина давача знаходиться в доступному і безпечному місці, а приймач і передавач винесені безпосередньо в зону детектування. Вони передають світловий сигнал до підсилювача по оптоволоконному кабелю.

Циліндрична форма Прямокутна форма Підковоподібна форма

Рисунок 2.6 - Типи давачів

В цих типах також існують всі методи виявлення. Фотодавачі з оптоволокном незамінні при рішенні задач виявлення в труднодоступних місцях і зонах з важкими умовами навколишнього середовища, а завдяки мініатюрності такої оптичної системи можливе виявлення об'єктів до 0,012мм в діаметрі. До того ж вихід з ладу чутливого елемента в тяжких умовах роботи трохи впливає на вартість відновлення давача.

Один підсилювальний блок працює з безліччю оптичних кабелів, що розрізняються і по методу виявлення і по конструктивних особливостях, так що не потрібно буде міняти весь давач при зміні задачі управління.

Більшість типів фотодавачів Omron мають різні варіанти підключення. Або це вбудований електричний дріт (стандартно 2м або 0,5м), або різьбовий роз'єм або підключення на клеми під гвинт. Також майже всі основні типи мають клас захисту від навколишнього середовища IP67, що практично дозволяє їм працювати під струменями води.

Для всіх давачів в характеристиках приведений опис стандартного об'єкту виявлення: його розміри і колір - білий, матовий. Це зовсім не означає, що інші об'єкти даний тип давачів не знаходить. Просто вся решта параметрів характеристик давача приведена відносно стандартного об'єкту виявлення і будь-яке відхилення від нього веде до зміни параметрів. Наприклад, зміщення кольору об'єкту до більш темного зменшує робочу дистанцію.

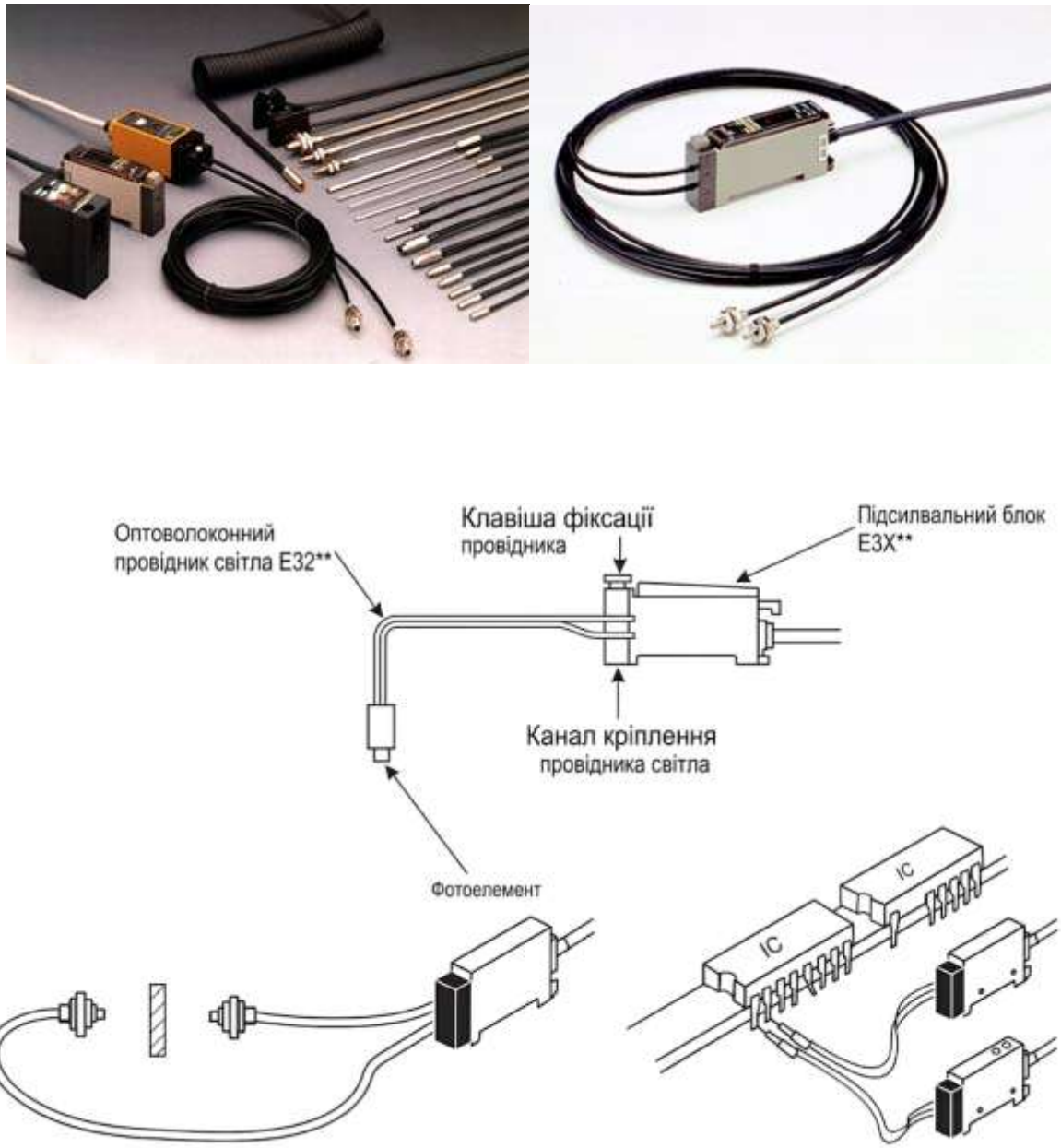
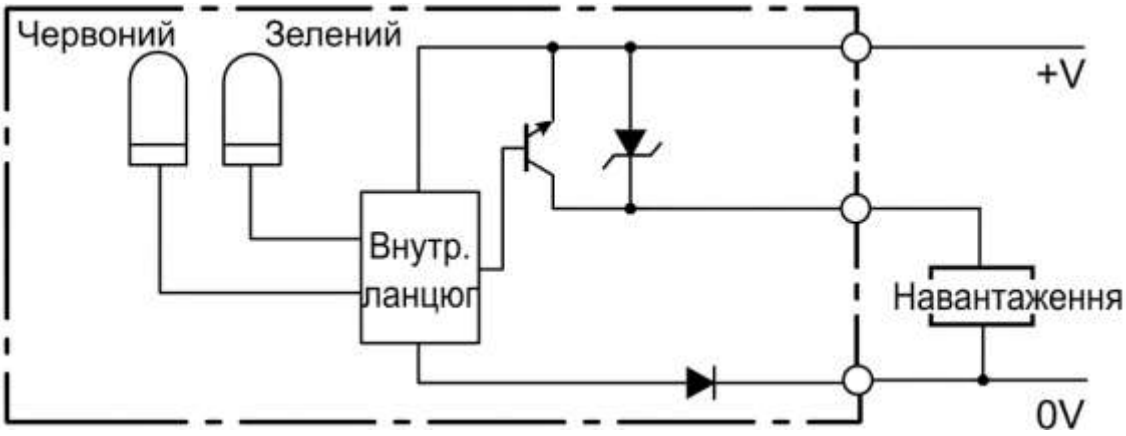
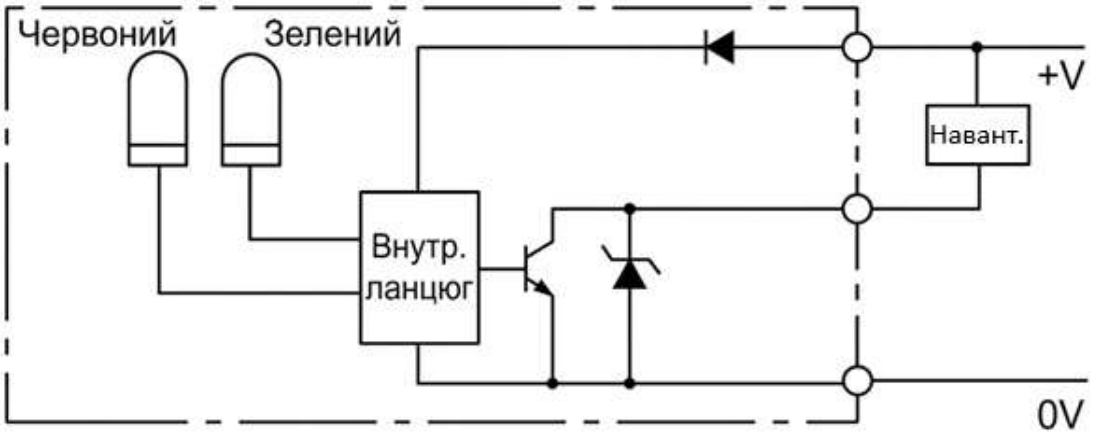


Рисунок 2.7 - Оптоволоконні давачі

Для детектування проходження пляшки по транспортерах конвеєра використовуються давачі фірми OMRON серії E3Z-B. Дані давачі вибрані тому що дана серія спеціально призначена для детектування напівпрозорих об'єктів, в даному випадку скляних пляшок.



PNP



NPN

Рисунок 2.8 - Типові схеми підключення (PNP і NPN).

Опис давачів фірми OMRON серії E3Z-B

Рисунок 2.9 - Фотоелектричний давач компанії OMRON серії E3Z-B

Один з типів фотоелектричних давачів серії E3Z. Спеціальний тип для виявлення об'єктів з прозорого матеріалу методом "віддзеркалення від рефлектора". Ідеальний для детектування пляшок об'ємом від 330мл до 2л. Має підстроювання чутливості. Добре видимий промінь червоного кольору полегшує настройку.

Таблиця 2.4. Технічні характеристики фотоелектричнич давачів компанії OMRON серії E3Z-B

Метод детектування	Віддзеркалення від рефлектора
Робоча дистанція	500мм / 2м (вибором моделі)
Спектр випромінювання	червоний
Габаритні розміри (мм)	20 x 30 x 10 (вертикальне виконання)
Напруга живлення	12-24 VDC
Споживаний струм	30mA
Управляючий вихід	відкритий колектор 100 mA, PNP або NPN (вибором моделі) NO / NC (перемикач)
Захист ланцюгів	захист від короткого замикання навантаження захист від переполюсовки живлення
Швидкодія	1мс
Наявність таймера	немає
Підстроювання дистанції спрацьовування	Гвинт на корпусі
Спосіб підключення	Вбудований дріт (2м або 500мм) Роз'єм M8
Умови експлуатації	від -25°C до 55°C при 35% - 85% вологості
Клас захисту по воді і пилу	IP67

2.11. Вибір та опис роботи частотних перетворювачів

2.11.1. Особливості роботи частотних перетворювачів „Omron”

Сучасні частотні перетворювачі розроблені для керування кутовою швидкістю обертання вала асинхронного двигуна (АД), що дозволяє гнучко коригувати темп його роботи в широкому діапазоні. Найбільшу популярність на ринку здобули частотні перетворювачі, які функціонують за принципом інверторів напруги, хоча в окремих інженерних рішеннях досі знаходять застосування й інвертори струму.

Перевага першого типу зумовлена їхньою здатністю ефективно обслуговувати багатомоторні приводні системи одночасно, а також, що є найважливішим чинником, забезпечувати значно більший інтервал регулювання частоти на виході. Ця особливість відкриває широкі можливості для інтеграції таких пристроїв як у промислові комплекси, так і в сектор житлово-комунального господарства, де, до прикладу, добове споживання води у мережах водопостачання є вкрай нестабільним. У таких умовах інвертори успішно розв'язують проблему нераціональних втрат ресурсів: за умови нормалізації та стабілізації тиску всередині трубопроводу система автоматично зменшує крутний момент на валу насосного агрегату, що забезпечує зниження витрат електричної енергії в межах до 30 %.

У промисловому виробництві, зокрема на потокових лініях, частотні перетворювачі так само масово застосовуються для координації роботи конвеєрних транспортерів. Завдяки їх впровадженню вдається досягти точної синхронізації приводних двигунів окремих ділянок, що позитивно позначається на роботі всього конвеєра загалом, знижує загальне енергоспоживання та суттєво нарощує загальну продуктивність цеху.

Головне призначення частотних перетворювачів (інверторів) полягає в забезпеченні м'якого, безступінчастого контролю швидкості обертання

трифазних асинхронних машин. Таке регулювання стає можливим завдяки формуванню на вихідних клемах пристрою трифазного струму з динамічно змінною частотою.

Конструктивна архітектура стандартного частотного перетворювача містить у собі мікропроцесорну систему управління, вхідний діодний або тиристорний випрямляч, проміжну ланку (шину) постійного струму та вихідний генератор (інвертор) на базі силових транзисторів. При цьому формування необхідних параметрів вихідної напруги реалізується за допомогою методу високочастотної широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).

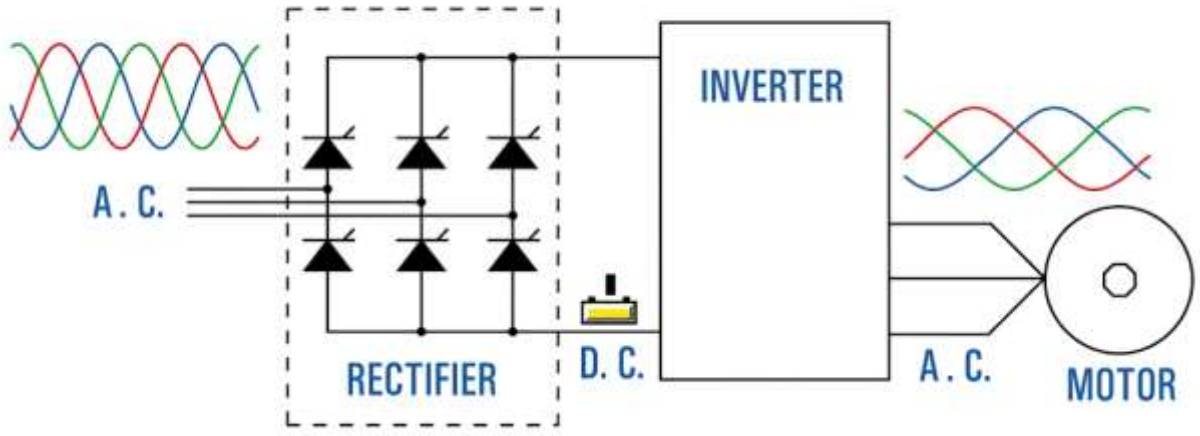
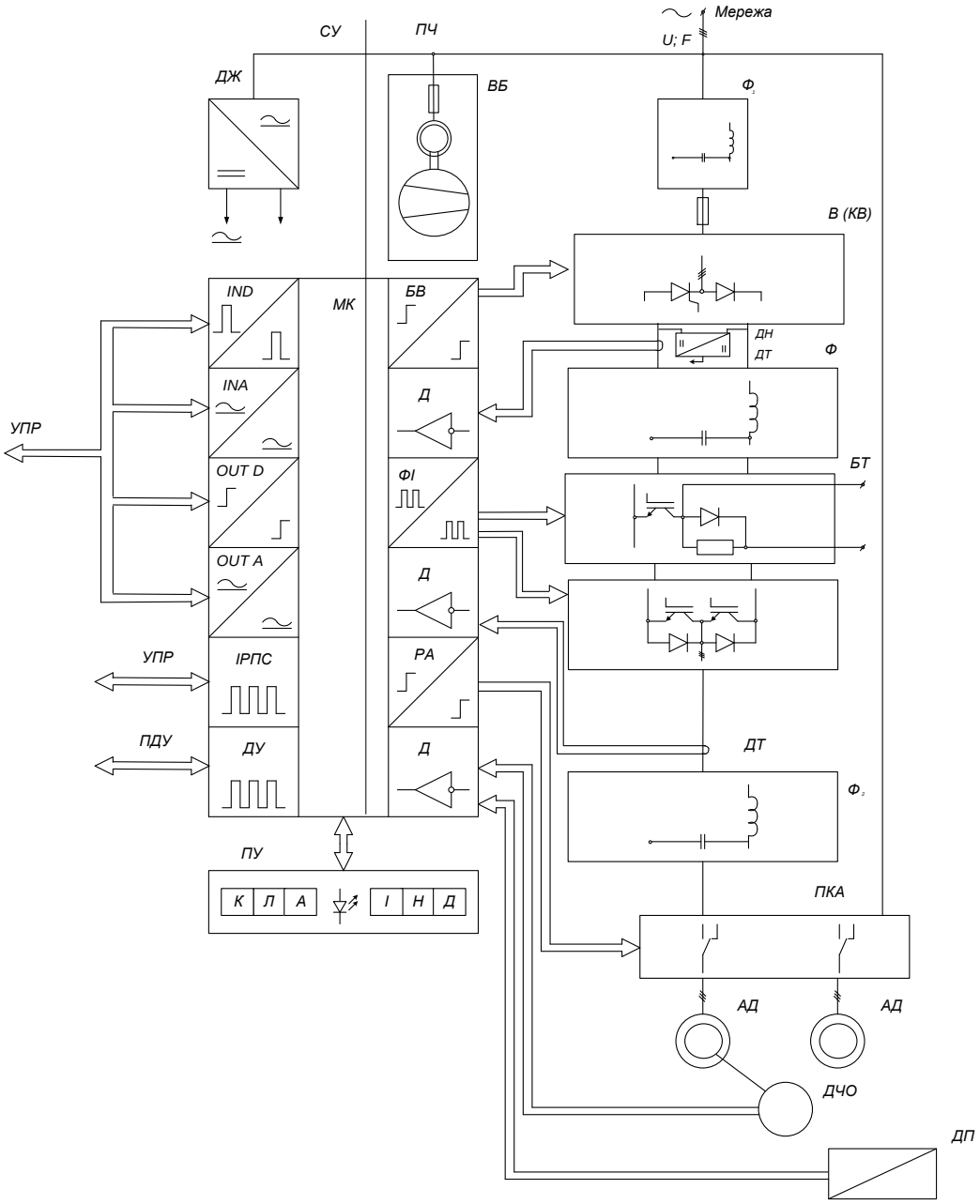


Рисунок 2.10 - Схема підключення інвертора

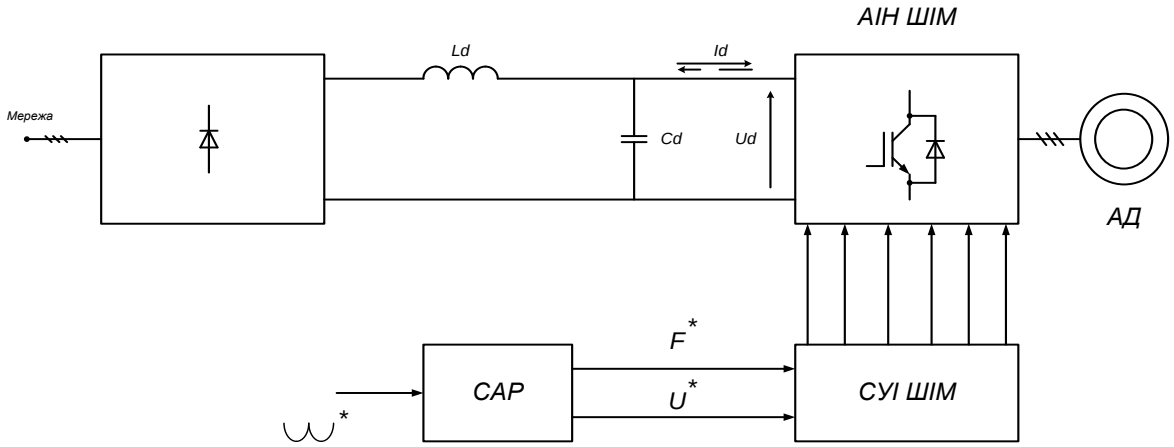
Принцип широтно-імпульсного (ШІМ) управління і формування вихідної напруги в електроприводах асинхронних двигунів

Фізична суть широтно-імпульсного регулювання та механізм формування параметрів вихідної напруги в сучасних частотно-регульованих електроприводах асинхронних машин базуються на динамічній комутації силових ключів. Автономний інвертор напруги (АІН) за своїми робочими властивостями еквівалентний джерелу напруги, де основним параметром, який підлягає гнучкому автоматичному регулюванню, виступає безпосередньо потенціал на статорних обмотках асинхронного двигуна (АД) (рис. 2.11, 2.12).



U, f – вхідні напруга і частота; *A* – аналоговий вихід; *D* – цифровий вихід; *IN A* - аналоговий вхід; *IN D* – цифровий вхід; *УПР* – зовнішнє управління; *ПДУ* – пульт дистанційного управління; *ДУ* – дистанційне управління; *АД* – асинхронний двигун; *ПЧ* – перетворювач частоти; *СУ* – система управління; *ПУ* – пульт управління; *БВ* – блок включення управління тиристорів; *В (КВ)* – випрямляч; *ФІ* – підсилювач-формувач; *БТ* – блок тормозіння; *Ф1,Ф2,Ф3* – фільтр; *ПКА* – блок вихідних програм; *ВБ* – блок вентиляторів; *ДЖ* – багатоканальне джерело живлення; *Д* – блок давачів; *ДН, ДТ* – блок захистів; *МК* – програмований мікроконтролер; *ДЧО* – давач частоти обертання; *РА* – блок лінійної автоматики; *ІРПС* – канали інтерфейсного зв'язку.

Рисунок 2.11 – Структура інвертора з векторним управлінням.

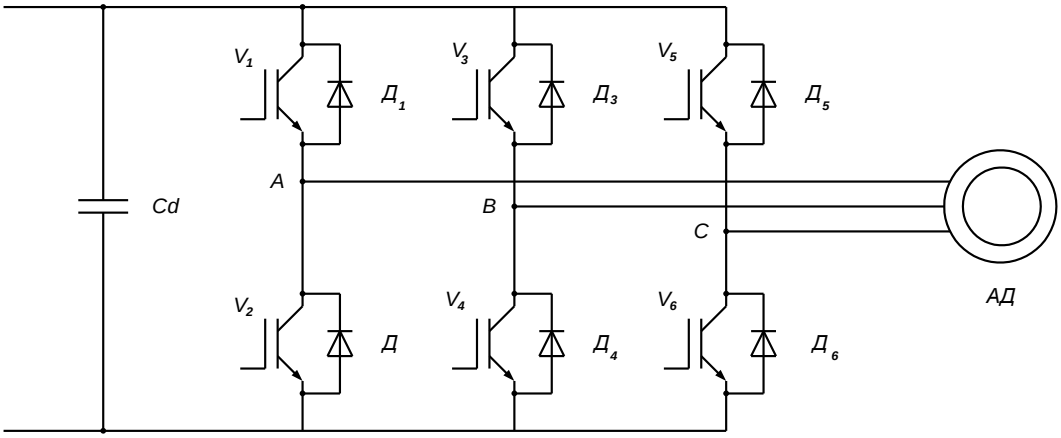


В – випрямляч; *Ld* – дросель фільтру Ф (див. рис. 2.11); *Id* – активна складова струму фільтру; *Cd* – місткість фільтру; *Ud* – напруга фільтру; *ω** - завдання на вході інвертування; *F**, *U**- частота і значення вихідної напруги відповідно, згідно V/f – характеристиці; *САР* – система автоматичного регулювання; *СУІ ШІМ* – система управління широтно-імпульсною модуляцією; *АІН ШІМ* – автономний інвертор напруги з широтно-імпульсною модуляцією.

Рисунок 2.12 – Структурна схема автономного інвертора напруги.

Схемотехніка таких інверторів будується з використанням повністю керованих силових напівпровідникових приладів, роль яких найчастіше виконують замикані GTO-тиристори або біполярні IGBT-транзистори з ізольованим затвором. У класичному використанні для цього застосовується трифазна мостова топологія (рисунок 2.13).

Базовими класифікаційними елементами такої схемотехніки є інтегрований вхідний фільтр, виконаний на базі конденсатора *Cd*, а також комутовані зустрічно-паралельно до основних керованих ключів *V1–V6* блоки діодів зворотного струму *Д1–Д6*. Завдяки чітко скоординованому, почерговому замиканню та розмиканню напівпровідникових вентилів *V1–V6*, первинна постійна напруга ланки постійного струму *Ud* трансформується у змінну вихідну напругу, яка має форму послідовності прямокутних імпульсів.



Cd – ємність вхідного фільтру;*V1-V6* – IGBT – транзистори; *Д1-Д6* – діоди; *АД* – асинхронний двигун.

Рисунок 2.13 – Електрична схема інвертора на IGBT – транзисторах.

Для коригування параметрів вихідної напруги в автономних інверторах напруги теоретично та практично можливе впровадження двох альтернативних підходів:

- Амплітудний метод (АР): передбачає зміну підсумкового значення за рахунок безпосереднього варіювання величини вхідної напруги *Ud*, яка надходить до інвертора з керованого випрямляча.
- Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ): реалізується шляхом динамічної зміни алгоритму та часових інтервалів перемикання силових вентилів *V1–V6* за умови, що вхідна напруга залишається незмінною *Ud* = const.

Розподіл струмів у силовій частині схеми відбувається з огляду на характер навантаження обмоток двигуна. Через повністю керовані транзисторні чи тиристорні ключі *V1–V6* замикається виключно активна компонента струму асинхронної машини. Водночас через систему зустрічно-паралельних діодів зворотного струму *Д1–Д6* протікає реактивна складова струму статора АД, зумовлена наявністю значної індуктивності в колах двигуна. При цьому ємнісний фільтр ланки постійного струму виступає в ролі локального акумулятора та джерела реактивної потужності,

що поглинається чи повертається асинхронним двигуном, а також забезпечує шлях для протікання змінної складової вхідного струму інверторного блока.

ЕП на основі АІН ШІМ містить некерований діодний силовий випрямляч *B* (рисунок 2.11). Регулювання гармонік *f1* і величини вихідної напруги *U1* здійснюється в АІН за рахунок використовування алгоритмів високочастотного ШІМ-управління. Частота ШІМ звичайно складає від 2 до 12 кГц, тобто на порядок перевершує вихідну частоту АІН.

Застосування спеціалізованого алгоритму ШІМ-керування в автономних інверторах напруги дозволяє одночасно з безпосереднім регулюванням параметрів вирішувати завдання оптимізації гармонійного складу вихідної напруги. Такий підхід гарантує досягнення високого ступеня синусоїдальності струму в обмотках асинхронного двигуна.

З фізичної точки зору, форма вихідної напруги при такому способі керування має вигляд високочастотної двополярної послідовності прямокутних імпульсів (див. рисунок 2.14). У цьому випадку частота повторення імпульсів визначається та фіксується внутрішнім генератором модуляції ШІМ, який задає режим перемикання системи.

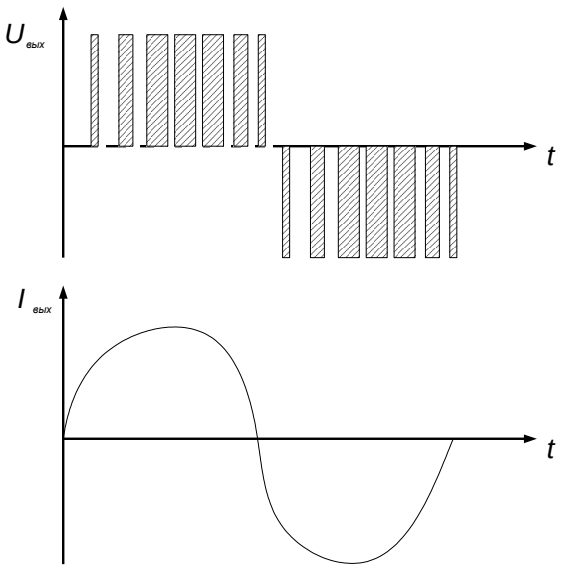


Рисунок 2.14 – Вигляд напруги та струму на виході АІН.

Тривалість кожного імпульсу є змінною і безперервно коригується протягом періоду вихідної частоти інвертора відповідно до синусоїдального закону. Це забезпечує формування еквівалентної вихідної напруги, наближеної до гармонійної форми. Оскільки обмотки статора асинхронного двигуна мають високий індуктивний опір, вони виконують роль природного фільтра нижніх частот, завдяки чому форма кривої підсумкового вихідного струму електродвигуна стає практично ідеально синусоїдальною.

До силових ключів АІН ШІМ пред'являються вимоги високої швидкодії і малих динамічних втрат.

Під час переходу до гальмівного режиму електропривод на базі автономного інвертора напруги перемикається з інвертування на випрямлення, при цьому задіюється діодний міст зворотного струму, а через керовані транзисторні ключі подається живлення для збудження асинхронного двигуна. У такому стані знак вхідної напруги автономного інвертора залишається незмінним, тоді як вектор струму змінює свій напрямок на протилежний.

З цієї причини для забезпечення процесу гальмування базову конфігурацію електроприводу необхідно доукомплектувати додатковими силовими компонентами. Це може бути або ведений мережею реверсивний керований випрямляч, який працює в режимі інвертування для повернення виробленої енергії назад у мережу живлення, або спеціальний керований ключ (блок БТ на рисунку 2.11) у поєднанні з гальмівним резистором, увімкненим у контур постійного струму для забезпечення електродинамічного розсіювання енергії.

За умов фіксованої напруги в ланці постійного струму (Ud = const) корекція величини та модифікація форми вихідної напруги реалізується виключно за рахунок зміни вигляду комутаційної функції із застосуванням принципів широтно-імпульсного регулювання (ШІР) та широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Такий підхід передбачає впровадження більш

розгалужених алгоритмів керування силовими вентилями, що базуються на їхньому багаторазовому комутуванні. Цей процес характеризується циклічним переведенням напівпровідникових елементів, які забезпечують проходження струму від шин постійної напруги інвертора до обмоток статора асинхронного двигуна, із відкритого стану в закритий і у зворотному напрямку в межах одного періоду повторюваності (рисунок 2.15).

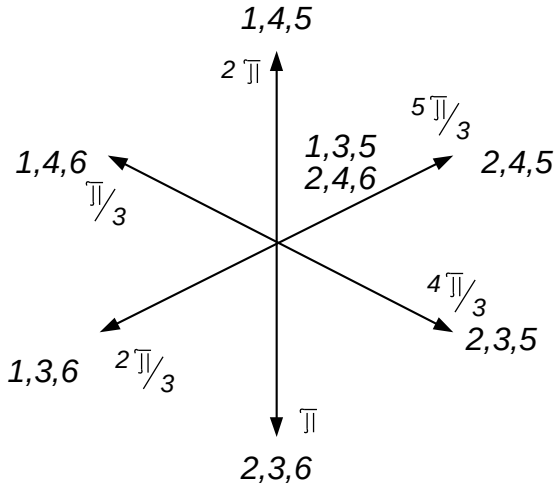


Рисунок 2.15 – Базові комутаційні вектори інвертування.

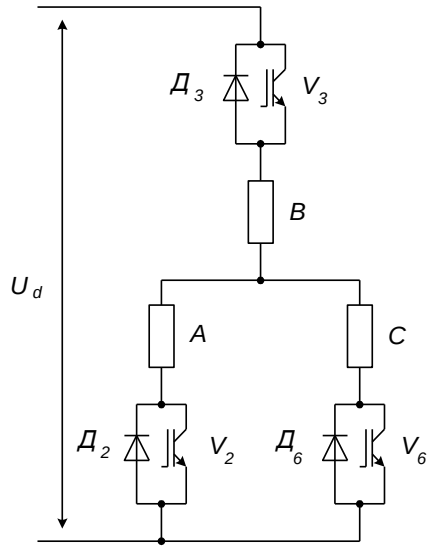
З метою реалізації ШІР впроваджується додатковий цикл перемикань, який переводить силове поле автономного інвертора напруги в один із нульових векторних станів, підключаючи вентилі за схемами 1, 3, 5 або 2, 4, 6. Такий підхід спричиняє виникнення нульових пауз на певних проміжках комутаційної функції, що дає змогу коригувати ефективне значення вихідної напруги в межах від мінімального нульового до максимально можливого рівня.

У разі застосування більш комплексних стратегій керування, що базуються на принципах широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) і спрямовані на вдосконалення спектрального складу та форми вихідної напруги, використовується концепція комутаційного вектора. Цей підхід

орієнтований на створення такої послідовності імпульсів керування, яка гарантує менш дискретну, плавнішу зміну вихідних напруг під час переходу між періодами повторюваності, якщо порівнювати її зі звичайною ступенчастою формою, що виникає за класичного почергового перемикання напівпровідників.

Зважаючи на те, що архітектура таких систем допускає наявність лише 6 активних станів вентилів (які безпосередньо беруть участь у створенні вихідної напруги) та 2 нульових позицій, досягнення бажаного профілю напруги стає можливим суто завдяки комбінованому поєднанню цих станів у межах кожного періоду повторюваності.

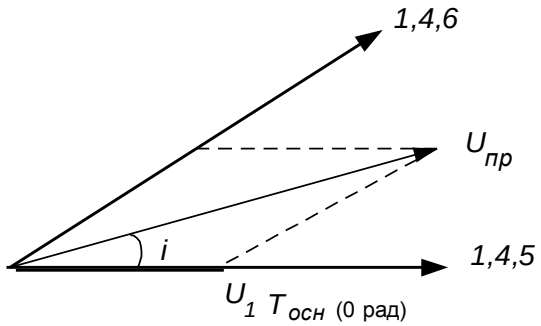
Для аналізу можна використати векторну діаграму, де шість активних станів зображуються у вигляді векторів просторового положення, що мають просторове зсунення відносно один одного на кут $\pi/3$ рад. Траєкторії нульових станів мають нульову довжину і локалізуються безпосередньо в точці початку координат. Усі ці 8 просторових орієнтацій класифікуються як базові вектори (рис. 2.15). Простір, обмежений двома суміжними векторними осями, окреслює межі відповідного періоду повторюваності системи.



Ud – напруга в колі постійного струму АІН; *A,B,C* – опори фаз АД.

Рисунок 2.16 – Кола протікання струму протягом періоду повторюваності при ШІМ.

Стратегія комутаційного вектора передбачає використання, окрім основних координат, певної кількості додаткових проміжних векторів Uпр, які розміщуються безпосередньо всередині робочих секторів. Просторове орієнтування будь-якого такого проміжного вектора задається його кутовим відхиленням на величину *i* відносно опорного базового вектора, що визначає межу цього конкретного сегмента (рисунок 2.17).



Unp – проміжний вектор; *U1* – проекція проміжного вектора на основний; *i* – кут проміжного вектора.

Рисунок 2.17 – Проміжний вектор в системі базових.

Будь-який проміжний вектор можна розділити на окремі компоненти шляхом його проектування на напрямки відповідних базових векторів. При цьому кожен період повторюваності ділиться на задану кількість часових інтервалів (так званих векторних тактів) із фіксованою тривалістю Тшім. Завдяки застосуванню такого математичного алгоритму крива вихідної напруги набуває більш гладкого характеру.

Векторне керування асинхронним двигуном

Щоб забезпечити високі показники регулювання електроприводу як у сталих, так і в перехідних (динамічних) процесах, критично важливо мати інструменти для оперативного прямого впливу на обертальний момент

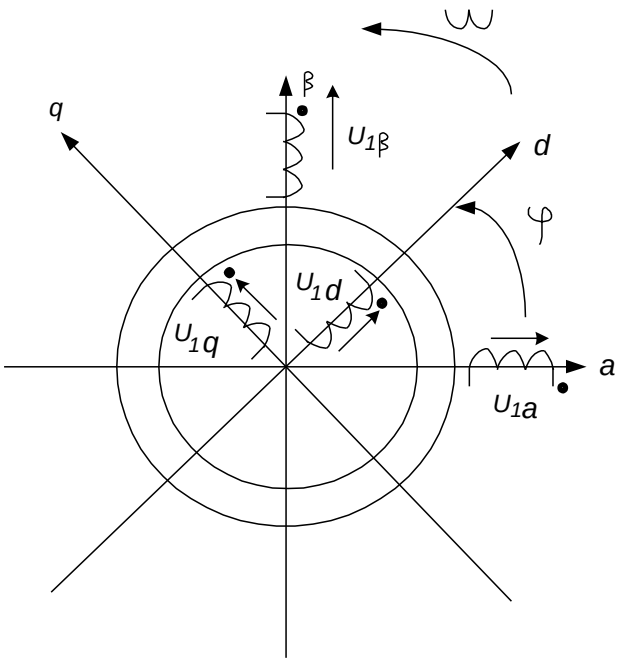
електродвигуна.

Величина моменту будь-якої електричної машини в довільний момент часу залежить від амплітудного значення та взаємного просторового розташування двох головних чинників: електричного струму та магнітного поля.

В асинхронних машинах вектори струмів і потокозчеплень статорного та роторного контурів здійснюють обертання з ідентичною частотою, проте характеризуються різними змінними фазовими координатами, які не піддаються прямому інструментальному контролю та безпосередньому регулюванню. Єдиним відкритим для керування параметром в асинхронному двигуні виступає струм статора, який одночасно генерує і робочий магнітний потік, і крутний момент. На відміну від систем із вбудованою кутовою орієнтацією, взаємне фазове узгодження цих компонентів покладається виключно на зовнішній керуючий контролер.

У загальній архітектурі автоматизованого приводу електродвигун зазвичай позиціонується як електромеханічний перетворювач енергії у формі умовного безінерційного рушія. Його уявний ротор позбавлений власної маси, не накопичує механічну енергію, не має внутрішніх втрат на тертя і вважається жорстко зчепленим із реальним рухомим елементом, який уже є конструктивною частиною механічної підсистеми приводу.

Подібний електродвигун концептуально описується як електромеханічний багатополюсник, що має у своєму складі n пар електричних полюсів (відповідно до кількості n наявних робочих обмоток) та одну пару механічних виходів (рис. 2.18).



$\alpha\theta$, β – нерухомі осі статора; d, q – осі ротора, що обертаються; φ – кут повороту ротора;

$\omega = \frac{df}{dt}$ - кутова швидкість ротора

Рисунок 2.18 – Концептуальна модель електромеханічного перетворювача.

На механічних виводах внаслідок електромеханічного перетворення енергії при швидкості ω генерується електромагнітний момент M. Цей момент M виступає вихідним параметром для електромеханічного перетворювача і водночас вхідним чинником для механічної підсистеми електроприводу. Швидкість ω обумовлюється характером руху механічної ланки, проте для самого електромеханічного перетворювача її можна вважати незалежною координатою. Механічні параметри M та ω інтегрують електромеханічний перетворювач і механічну частину в цілісну взаємопов'язану структуру.

Усі динамічні та статичні процеси всередині електродвигуна відображаються за допомогою комплексу рівнянь електричної рівноваги (кількість яких збігається з кількістю робочих обмоток), а також рівняння електромеханічного перетворення енергії. З цією метою у теорії автоматизованого приводу застосовують двофазну модель узагальненого

електроприводу (рис. 2.18), до параметрів якої трансформуються абсолютно всі існуючі класи та конфігурації електричних машин.

Рівняння електричного балансу для довільної *i*-ї обмотки має такий вигляд:

$$U_i = R_i \cdot i_i + \frac{d\psi_i}{d_t},$$

де $\psi_i = \sum_i L_{i,j} i_j$ - потокозчеплення *i-oї* котушки;

i=1a,.2q; j=1a,.2q,

Ri – активні опори котушок,

Li, j – власні та взаємні індуктивності котушок.

Значення взаємних індуктивностей обумовлюється кутом φ повороту ротора, а також просторовим зміщенням обмоток, тобто вони є функціями швидкості й часу. Саме через цей фактор досягнення cos φ = 1 стає неможливим.

Розробка алгоритмів та структур векторного керування асинхронним двигуном ґрунтується на дослідженні двофазної *d – q* моделі машини, де *d* та *q* утворюють ортогональну систему координат, пов'язану з ротором.

Конфігурація системи векторного керування містить три ключові функціональні вузли (рис. 2.19):

БРЗ – блок регуляторів змінних;

БОЗ – блок обчислення змінних;

БЗЗ – блок задання змінних.

На вхідні канали БРЗ подаються керуючі команди щодо швидкості й магнітного потоку, а також інформаційні сигнали зворотного зв'язку, що надходять із виходу БОЗ і являють собою орієнтовані за вектором поля значення компонентів статорного струму, роторного потокозчеплення та кутової швидкості. У структурі БРЗ передбачено комплекс регуляторів

потоку, крутного моменту й струму, на виходах яких створюються також орієнтовані відносно поля завдання для складових струму статора.

Вузол БЗЗ виконує фазові та координатні трансформації заданих *d–q* координат у трифазну систему керуючих імпульсів для широтно-імпульсного модулятора автономного інвертора напруги. У свою чергу, вузол БОЗ визначає поточні амплітудні та кутові характеристики *d–q* параметрів асинхронного двигуна, здійснюючи зворотні фазові та координатні перетворення реальних трифазних величин струмів і напруг, які фіксуються відповідними вимірювальними датчиками на виході машини.

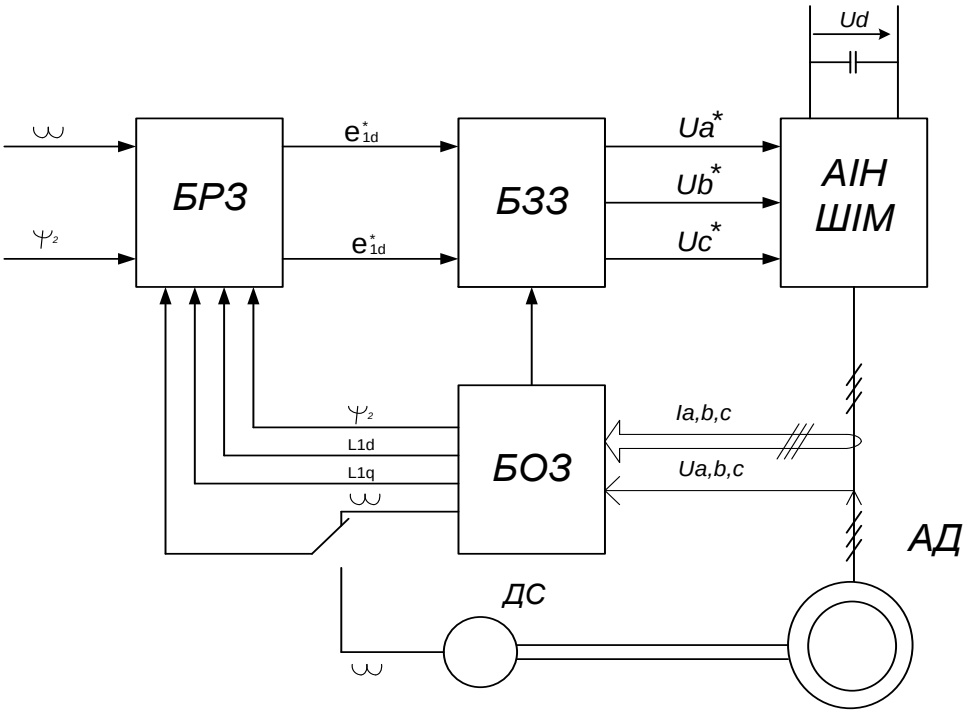


Рисунок 2.19 – Структура векторного керування

Перетворення координат, що здійснюються блоком *БОЗ*, полягають в переході від реальних координат трифазної системи статора АД з осями *d*,*q* (перетворення 3 > 2). Блок *БЗЗ* здійснює зворотні координатні перетворення (2 > 3)*, від d-q до a,b,c.*

Фазові перетворення в цих блоках забезпечують прив’язку фазових параметрів змінних в двох системах координат.

На безвідмовність, ціну та відмінні параметри ЕП впливають число вимірюваних параметрів і точність вимірювань. Для векторного управління АД треба вимірювати хоча б дві з чотирьох доступних для вимірювання змінних:

1) струм статора АД;
2) напругу на затискачах АД;
3) частоту обертання ротора АД;
4) кутову позицію ротора АД.

Системи векторного керування забезпечують можливість практично в довільну мить, за будь-якого просторового орієнтування ротора відносно статора, а також при будь-яких значеннях кутової швидкості та механічного навантаження на валу, досягати гранично високого значення cos φ асинхронного двигуна. Такий ефект безпосередньо зумовлює суттєве зростання коефіцієнта корисної дії та збільшення обертального моменту електричної машини, який за таких умов стає майже інваріантним до зміни частоти обертання ротора.

Переваги і недоліки АІН

Переваги структури ЕП на основі АІН:

а) практично необмежений діапазон регулювання частоти і швидкості;

б) некритичність до потужності (в межах допустимої) і кількості підключених АД;

в) можливість працювати в режимі холостого ходу при відключенні АД.

г) високе, близьке до “1” значення коефіцієнта потужності мережі (cos φ) у всіх режимах роботи;

д) синусоїдальність вихідного струму, плавне, без стрибків, обертання АД на швидкостях, близьких до нульових;

ж) високі динамічні показники ЕП, обумовлені високою швидкодією ШІМ управління;

Недоліки структури ЕП на основі АІН:

а) достатньо високий рівень радіоперешкод, що можуть викликати збої ЕОМ і контролерів (силові кабелі необхідно прокладати в заземлених трубах).

б) неекономічність прокладки довгих живлячих кабельних ліній між АІН і двигуном зважаючи на значні струми ВЧ – витоки на нуль (падає момент);

в) необхідність установки спеціальних фільтрів як на вході, так і на виході інверторів. Вживання звичайних фільтрів неприпустиме.

г) неприпустимість використання будь-якої комутуючої апаратури на виході АІН.

д) неусувний струм високочастотного витоку на нуль.

2.11.2. Обгрунтування вибору частотних перетворювачів Omron

Основними критеріями диференціації частотно-регульованих асинхронних електроприводів є їхній номінальний діапазон робочих потужностей, а також архітектурні та функціональні можливості інтегрованих мікропроцесорних систем керування.

Частотні перетворювачі забезпечують комплексний електронний захист силових напівпровідникових модулів та обмоток електродвигуна від критичних режимів роботи: струмових навантажень, теплового перегріву, витоків на землю (коротких замикань на корпус) та аварійного обриву живильних фаз.

Конструкція інверторів дозволяє здійснювати безперервний моніторинг та виводити на рідкокристалічний або світлодіодний дисплей цифрового пульта керування базові параметри системи. До них належать встановлене завдання швидкості, поточна частота на виході, споживаний струм і лінійна напруга статора, вихідна активна потужність, поточний

момент на валу, логічний стан дискретних входів, а також сумарний час напрацювання обладнання в годинах. Залежно від фізичної природи і динаміки навантаження технологічного обладнання, інженер-налагоджувальник має можливість вибрати одну з попередньо встановлених вольт-частотних U/f-характеристик або запрограмувати індивідуальну багатоточкову криву.

Управління робочими режимами перетворювачів частоти OMRON реалізується або безпосередньо з інтегрованого цифрового інтерфейсного пульта, або за допомогою зовнішніх ліній зв'язку. За умов дистанційного керування швидкість обертання задається уніфікованими аналоговими сигналами напруги (0–10 В) чи струмової петлі (4–20 мА), а директиви запуску, зупинки та реверсування подаються через дискретні вхідні канали. Додатково передбачена можливість повноцінної інтеграції перетворювача в загальнозаводську систему АСУ ТП через послідовні цифрові інтерфейси зв'язку RS-232, RS-422 або RS-485 із застосуванням спеціалізованих мережевих протоколів.

Усі частотні інвертори виробництва OMRON підтримують низку спеціальних інтелектуальних функцій:

- **Функція енергозбереження:** Окрім загального зниження непродуктивних втрат за рахунок усунення дроселювання, перетворювач має спеціалізований програмний режим енергооптимізації. Дана функція дозволяє під час виконання аналогічного обсягу механічної роботи додатково знизити споживання електроенергії в межах від 5% до 30% шляхом безперервної підтримки режиму максимального коефіцієнта корисної дії (ККД) двигуна. У цьому режимі мікропроцесор автоматично відстежує вектор струму, розраховує поточне статичне навантаження на валу і пропорційно знижує напругу на виході, мінімізуючи втрати на нагрівання обмоток.
- **Інтегрований ПІД-регулятор:** Наявність вбудованого блоку

пропорційно-інтегрально-диференціального регулювання процесу дозволяє створювати замкнені контури автоматичного керування. Для реалізації цього режиму до інвертора підключається відповідний датчик зворотного зв'язку (тиску, рівня, витрати чи температури). Перетворювач динамічно коригує частоту обертання приводного електродвигуна таким чином, щоб утримувати контрольований технологічний параметр на суворо заданому рівні.

- **Запобігання механічному резонансу:** Для виключення ризику виникнення руйнівних резонансних коливань у механічних з'єднаннях та елементах трансмісії при роботі на критичних швидкостях, у програмі перетворювача передбачена функція пропуску (обходу) визначених частотних смуг.
- **Захист від перекидання ротора:** Даний алгоритм функціонує на трьох етапах: під час розгону, у процесі динамічного гальмування та в усталеному режимі роботи. Якщо під час прискорення зафіксовано занадто високий темп розгону за браком динамічної потужності, інвертор автоматично пролонгує час розгону. Аналогічно система діє і при гальмуванні для виключення перенапруги на шині постійного струму. У тривалому режимі роботи при виникненні раптового технологічного навантаження ця функція, замість аварійного вимкнення пристрою за перевантаженням, знижує частоту обертання до безпечного рівня, зберігаючи безперервність процесу.
- **Автоматичне визначення поточної швидкості (пошук швидкості):** У випадках, коли запуск перетворювача має відбутися за умови, що ротор двигуна вже обертається під дією зовнішніх сил або вибігу навантаження, активується функція уловлювання швидкості. Сенсорна система визначає фактичну частоту обертання та напрямок руху вала і підхоплює керування не з нульової позначки, а безпосередньо з поточної частоти, усуваючи небезпеку виникнення надто високих пускових струмів і ударних механічних моментів.

Компактні багатофункціональні перетворювачі 3G3MV стали першими у своєму класі пристроями, які поєднали мінімальні габаритні розміри з можливістю побудови високодинамічних систем із розімкненим контуром векторного керування. Завдяки інтегрованій системі розімкненого векторного керування, інвертори 3G3MV здатні гарантувати стабільне формування вихідного обертального моменту на рівні 150% від номінального значення двигуна вже при досягненні вихідної частоти 1 Гц. Це забезпечує плавне та рівномірне обертання вала в зоні наднизьких частот, що недосяжно для стандартних інверторів вольт-частотного типу. Крім того, алгоритми 3G3MV ефективно демпфують і пригнічують коливання швидкості, спричинені стрибкоподібною зміною зовнішнього навантаження.

Для класичного вольт-частотного (U/f) режиму в пристроях передбачена повністю автоматична функція форсування (посилення) моменту обертання, яка суттєво підвищує перевантажувальну здатність двигуна на низьких обертах. Безпека силових кіл гарантується наявністю високошвидкісної функції обмеження струму, яка відсікає небезпечні амплітудні сплески струму при високих навантаженнях, забезпечуючи м'яку та безперебійну роботу всієї системи.

Інтегрований у Цифровий Пульт Управління (ЦПУ) поворотний потенціометр дозволяє оперативно та безпосередньо здійснювати точне налаштування та плавне регулювання робочої частоти. За замовчуванням логіка роботи пристрою конфігурується з орієнтацією на параметри цього задавача. Конструкція ЦПУ також підтримує функцію резервного копіювання та перенесення масиву параметрів, що значно спрощує тиражування налаштувань при заміні або груповому монтажі однотипних приводів.

Пристрої мають високу ремонтопридатність: вбудований охолоджувальний вентилятор виконаний як легкознімний модуль. З метою

максимізації експлуатаційного ресурсу вентилятора в налаштуваннях передбачено алгоритм його активації виключно під час безпосередньої роботи інвертора під навантаженням.

Схемотехніка пристрою містить вбудований гальмівний транзистор, що значно підвищує ефективність динамічного гальмування при прямому підключенні зовнішніх розсіювальних гальмівних резисторів. Безпека при первинному ввімкненні в мережу забезпечується інтегрованим контуром захисту від кидків пускового струму, що повністю запобігає ризику підгоряння або зварювання контактів комутаційної апаратури блока живлення.

Апарати серії 3G3MV підтримують повноцінний цифровий обмін даними за інтерфейсами RS-422 та RS-485 на базі стандартного промислового протоколу MODBUS. Це дозволяє легко інтегрувати інвертори в промислові інформаційні мережі за допомогою готових макрофункцій обміну або спеціалізованих ASCII-модулів, встановлених у центральні програмовані логічні контролери OMRON сімейства SYSMAC.

Також забезпечено пряме підключення до промислової мережі CompoBus/D за допомогою спеціального виносного комунікаційного Блоку Обміну моделі 3G3MV-PDRT1-SINV. Інверторам 3G3MV у такій конфігурації доступні всі функції віддаленого введення-виведення даних, що робить роботу з ними такою ж простою, як і зі стандартними локальними каналами I/O. Важливою перевагою є те, що специфікація обміну CompoBus/D повністю еквівалентна протоколу DeviceNet для відкритих мережевих структур, завдяки чому стає можливим проектування гетерогенних автоматизованих комплексів, де в одній мережі одночасно функціонують компоненти різних світових виробників.

Для мінімізації негативного впливу на якість електричної мережі інвертор має контур для підключення згладжувального реактора постійного струму (дроселя ланки постійного струму). Таке рішення пригнічує вищі гармонічні складові струму значно ефективніше, ніж стандартні реактори

змінного струму, що встановлюються на вході пристрою. Для досягнення максимального рівня електромагнітної сумісності та повного очищення спектра мережевого струму можливе комбіноване послідовне застосування реакторів як постійного, так і змінного струму одночасно.

2.11.3. Технічні характеристики та особливості управління частотними перетворювачами Omron

Автономні інвертори мають безліч настройок і параметрів, які роблять їх надзвичайно гнучкими у використанні. Зміна параметрів полягає в зміні цифрових значень відповідних комірок. Кожний параметр інвертора має кодове позначення (таблиця 2.5).

Таблиця 3.5 – Список настроювальних параметрів інвертування.

№ параметра	**Індикатор**	**Опис**	**Діапазон**	**Заводська установка**
n01		Вибір доступу до параметрів/ініціалізація параметрів	0,1,8,9	1
n02	MODE	Вибір методу управління	0-5	0
n04	F/R	Вибір напряму обертання	For/Rev	For
n06		Вибір функції програмованого входу	0-4	1
n09		Вибір функції програмованого входу	0,1,2	1
n11	FREF	Задана частота 1, Гц	0,0-400	6,0
n12	FREF	Задана частота 2, Гц	0,0-400	0,0
n20	ACC	Час розгону, з	0,0-999	10
n21	DEC	Час гальмування, з	0,0-999	10
n24	FMAX	Максимальна частота, Гц	50,0-400	60,0

Продовження таблиці 3.5

n25	VMAX	Максимальна напруга, В	1-255	200
n26	FBAS	Частота при максимальній напрузі, Гц	1,6-400	60,0
n31	THR	Струм, при якому спрацьовує електронний термозахист, А	0,1-8,4	6,2
n33		Попередження перекидання ротора під час гальмування	0,1	0
n36		Режим роботи після миттєвого пропадання живлення	0,1,2	0
n37		Несуча частота	1,2,3,4	4
n39		Коефіцієнт передачі по частоті	0,1-2,00	1,00
n40		Зсув по частоті, Гц	-99-99	0
n68		Історія помилок		

Параметр n01 є основним показником. Він задає рівень дозволу для коригування конфігурацій перетворювача частоти. Детальніші відомості щодо інтерпретації його значень наведені далі (таблиця 2.6).

Таблиця 2.6 – Опис значень параметра “n01”.

Значення “n01”	**Опис**
0	Доступ тільки до ключового параметра “n01”
1	Для установки доступні всі параметри до “n68”
8	Для всіх параметрів встановлюються заводські установки
9	Інвертор включається в 3-х жильну зовнішню схему управління

Для цієї конфігурації показник «n01» необхідно перевести в позицію «1». Усі зазначені характеристики та їхні конкретні величини задаються

через пульт оператора, зовнішній вигляд лицьової сторони якого відображено на рисунку 2.20.

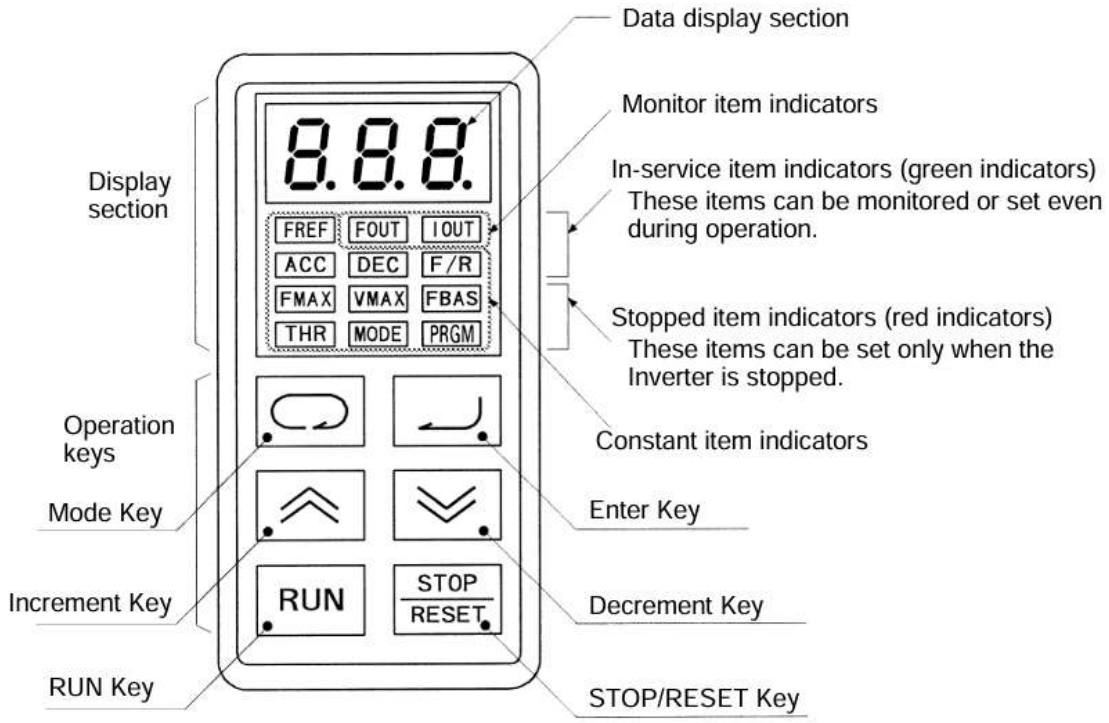


Рисунок 2.20 – Пульт оператора

Процедура конфігурування параметрів за допомогою вбудованого пульта керування для часто використовуваних функцій інвертора передбачає виконання таких дій.

Спочатку для вибору необхідної характеристики використовується кнопка «MODE» (її не слід плутати з однойменним індикатором «mode»). Після цього на екрані загоряється відповідний світлодіод, який вказує на обрану величину.

Наступним кроком виконується коригування налаштування до потрібного рівня за допомогою кнопок «INCREMENT» та «DECREMENT». Закріплення нового показника здійснюється за допомогою натискання клавіші «Enter».

Варто враховувати, що коли регулювання виконується під час роботи привода, то циклічне натискання кнопки «MODE» буде підсвічувати лише зелені світлодіоди. Активний у цей момент індикатор сигналізує про те,

який саме параметр зараз відкритий для перегляду чи редагування. Усі характеристики, що закріплені за червоними індикаторами, стають доступними для вибору та зміни виключно після повної зупинки перетворювача частоти.

Для переходу в режим прямого налаштування параметра за його конкретним кодовим номером (що також можливо лише за умови зупиненого інвертора) діють за іншим алгоритмом. Спершу кнопкою «MODE» здійснюється покрокове перемикання, доки на панелі не загориться індикатор з позначкою «PRGM». На екрані при цьому з'явиться початковий код «n01», готовий для аналізу чи модифікації. Далі за допомогою кнопок «INCREMENT» та «DECREMENT» здійснюється пошук необхідного індексу налаштування у меню «PRGM», після чого натискається кнопка «ENTER».

Ця дія відкриває доступ до внутрішньої комірки пам'яті, і на екрані відображається поточна величина цього параметра. За необхідності користувач змінює цифрові дані, знову використовуючи клавіші «INCREMENT» та «DECREMENT».

Для підтвердження та фіксації оновлених даних знову натискають «ENTER», внаслідок чого мерехтіння цифрового значення на дисплеї припиняється, свідчачи про успішний запис у пам'ять пристрою. Орієнтовно через пів секунди після збереження система автоматично повертається до стану, коли можна обирати, коригувати та записувати наступний номер параметра (процес повторюється аналогічно до попередніх кроків). Завершення роботи в режимі прямого редагування та вихід із нього здійснюється натисканням кнопки «MODE».

Щоб здійснити старт перетворювача частоти, слід скористатися кнопкою «RUN», а для припинення його роботи – кнопкою «STOP». Оскільки під час обертання привода активація червоних світлодіодів безпосередньо з панелі заблокована, інженери компанії «Omron» заклали в алгоритм автономного інвертора напруги специфічну функцію: шість

червоних індикаторів за чергою вмикаються один за одним, створюючи візуальний ефект «біжучого вогника по колу». Обертання цього оптичного сигналу в напрямку за годинниковою стрілкою свідчить про пряме обертання асинхронного двигуна, тоді як рух вогника проти годинникової стрілки сигналізує про роботу двигуна в режимі реверсу.

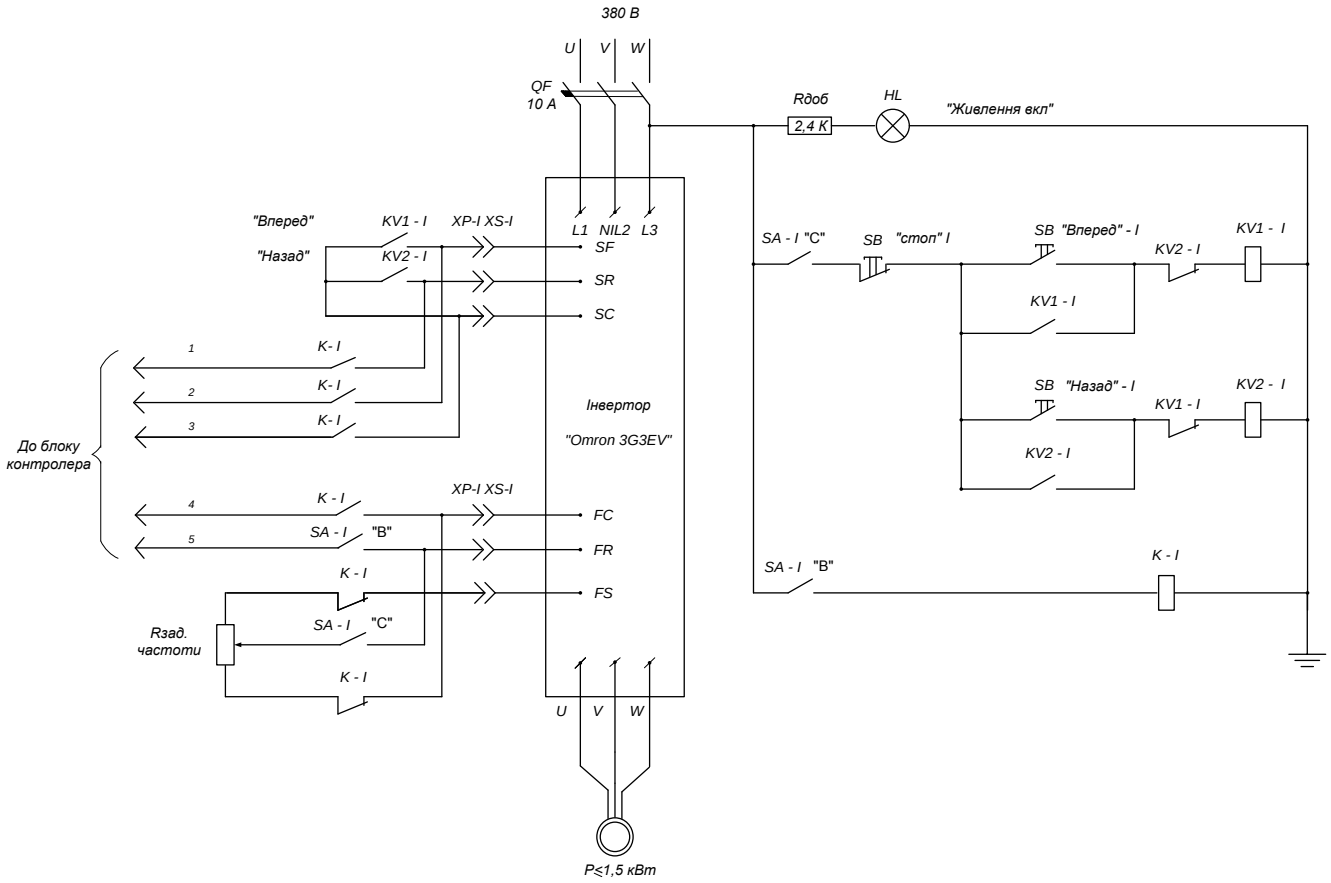
Для забезпечення повноцінного процесу локального налаштування та ведення привода безпосередньо з вбудованої панелі характеристику «mode» (n02) слід перевести в позицію «0», що відповідає стандартній базовій конфігурації заводу-виробника.

У випадку, коли після увімкнення силового живлення на лицьовій стороні пристрою загорівся світлодіод аварії «ALARM», роботу з обладнанням необхідно негайно зупинити та доповісти про позаштатну ситуацію керівнику занять.

Системи частотного регулювання марки «Omron» адаптовані для сприйняття команд не лише з локальної інженерної панелі, а й через зовнішні лінії керування за допомогою аналогових та дискретних сигналів, які підключаються до відповідних клемних колодок. Такий метод взаємодії відкриває можливості для дистанційного пуску, гальмування, перемикання векторів обертання приводного електродвигуна, а також динамічної корекції частоти його живлення не тільки вручну працівником, а й автоматично за допомогою контролерів промислової автоматизації. Дане технічне рішення є стандартним для сучасних індустріальних об'єктів, де виникає потреба в координації та централізованому контролі великих груп електричних приводів.

На схемі 2.21 відображено базову електричну структуру, призначену для реалізації дистанційного керування інвертором.

Щоб активувати алгоритм роботи від зовнішніх джерел сигналів, систему насамперед необхідно налаштувати на те, що всі команди (старт, зупинка, реверсування, завдання частоти) мають зчитуватися виключно із зовнішніх комутаційних ліній.



1 – дискретний сигнал “Назад” від блоку контролера; *2* – дискретний сигнал “Вперед” від блоку контролера; *3* – загальний дискретний вхід; *4* – аналоговий сигнал на задання швидкості від блоку контролера; *5* – загальний аналоговий вхід.

Рисунок 2.21 – Електрична принципова схема підключення інвертора для реалізації зовнішнього управління.

Завдання пріоритету джерел для надходження цих зовнішніх директив закріплено за параметром (індикатором) «mode». Перелік можливих варіантів конфігурування даної функції детально розписано в таблиці 2.7. DIP-ключі знаходяться під передньою кришкою інвертора, в положенні “OFF”. В даній системі використовується режим “3”, тобто режим зовнішнього управління, що задається параметром “mode”.

Управляючі входи інвертора поділяються на дискретні і аналогові. Задання напряму обертання і команди “СТОП” і “ПУСК” подаються тільки

з дискретних входів. Задання частоти обертання може відбуватися як в цифровій формі, так і в аналоговій. В даній схемній реалізації застосований аналоговий спосіб задання частоти як більш наочний і простій. Він реалізується за допомогою потенціометра, з якого знімається сигнал 0-10 В і подається на вхід “FR” (“FC” - загальний).

Таблиця 2.7 – Режими зовнішнього управління, що задаються параметром “mode”.

Значення параметра “n02”	**Команда “Пуск” подається .**	**Завдання частоти подається.**	**Установка DIP - ключів**
0	З пульта оператора	З пульта оператора (n11)	OFF
1	З клем управління	З пульта оператора (n11)	OFF
2	З пульта оператора	З клем управління (0-10 V)	OFF
3	З клем управління	З клем управління (0-10 V)	OFF
4	З пульта оператора	З клем управління (4-20 mA)	ON
5	З клем управління	З клем управління (4-20 mA)	ON

Для реалізації зовнішнього управління інвертором необхідно перевести ключ “SA – I” у верхнє положення. На схемі це відповідає замиканню “SA – I “З ” ” контактів. З схеми видно, що таке перемикання забезпечує подачу живлячої напруги на катушки керованих реле “KV1 - I” і “KV2 - I”, контакти яких комутують дискретні входи інвертора “SF” і “SR” із загальним входом “SC”.

Комутація “SF - SC” забезпечує прямий хід привідного двигуна, “SR - SC” – зворотний хід, тобто реверс. Оскільки одночасна подача сигналів на два дискретні входи приводить до помилки і зупинки інвертора, то при

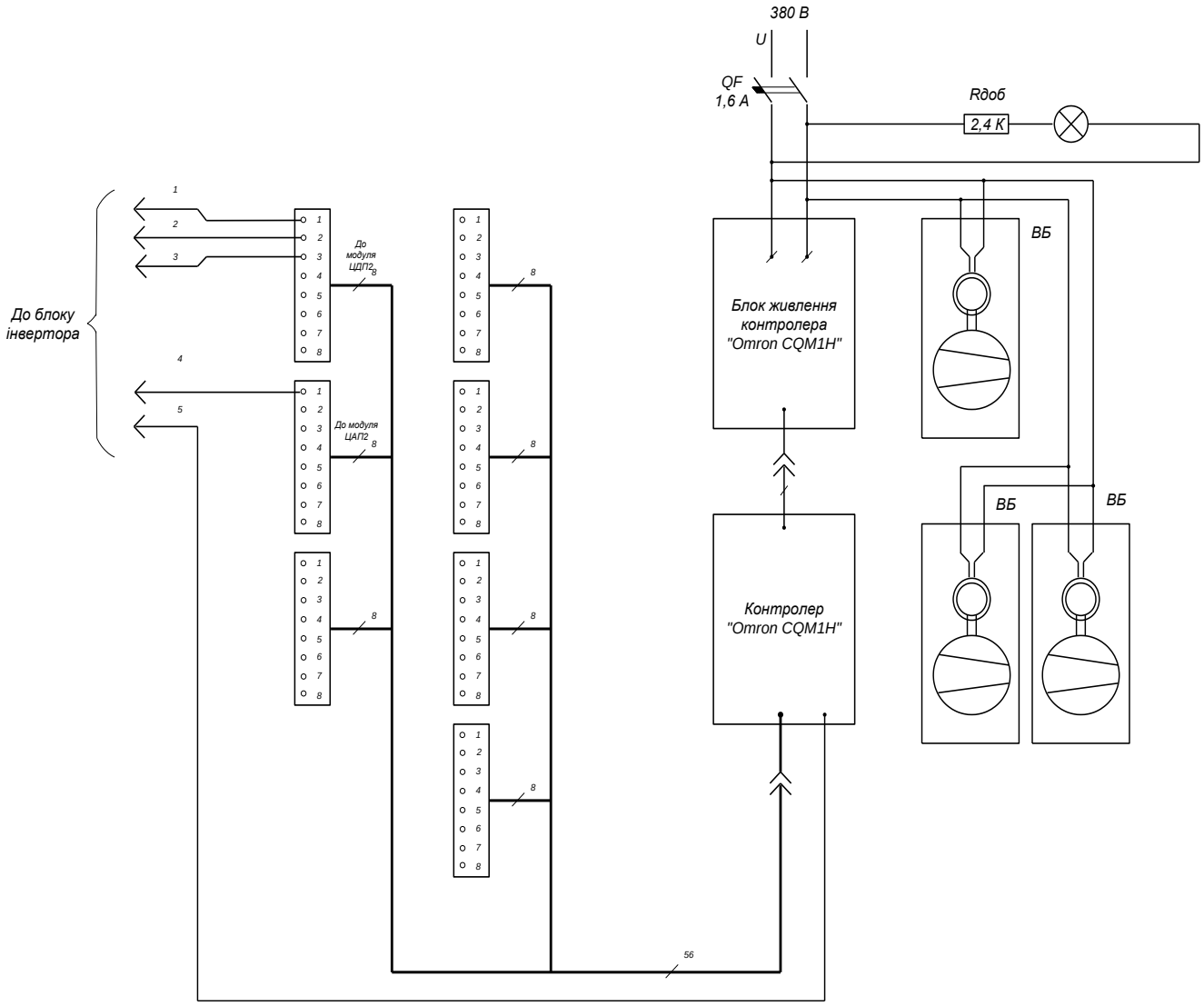
роботі одного з реле, що відповідають за вибір напряму обертання, його контакти розривають ланцюг живлення реле, що відповідає за пуск інвертора в іншу сторону.

Для реалізації режиму зовнішнього управління на схемі не достатньо відповідним чином запрограмувати інвертор, необхідно встановити ключ “SA – I” на стенді в крайнє нижнє положення. “SA – I” замикає ланцюг живлення реле “К – I” і комутує один з ланцюгів аналогового входу інвертора.

Реле “К – I” спрацьовує, забезпечуючи відключення ручного задавача частоти (потенціометра) і підключаючи дискретні і аналогові входи. Помітимо, що ключ “SA – I” використовується для комутації одного з аналогових входів через те, що у реле “К- I” всього чотири нормально-розімкнені контакти. А для реалізації режиму зовнішнього підключення необхідно роздільно комутувати п'ять входів.

Для запуску інвертора і його зупинки служить кнопкова станція. Задання напряму обертання відбувається шляхом подачі управляючої напруги на вхід відповідного реле. Один з його нормально-розімкнених контактів забезпечує самозахоплення.

Для забезпечення управління інвертором за допомогою контролерів використовується підключення “Omron CQM1H” згідно схеми (рис. 2.22).



ВБ – блок вентиляторів; *1* – дискретний вихід “Назад”; *2* – дискретний вихід “Вперед”; *3* – дискретний загальний; *4* – аналоговий вихід для задання швидкості на інвертор; *5* – загальна шина контролера.

Рисунок 2.22 – Електрична принципова підключення контролера.

3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Особливості вибору програмованих контролерів

Промислові контролери знаходять різноманітне застосування як у промисловому секторі, так і в побутовій сфері, забезпечуючи керування електронними й електричними компонентами аналогового та дискретного типу. Спільно з периферійним обладнанням ці пристрої реалізують комплексні завдання, що включають обробку даних, безпосереднє керування, координацію параметрів, моніторинг, вимірювальні операції, сповіщення та загальний контроль. У промисловості ключовими сферами їхнього впровадження є конвеєрні лінії, транспортувальні системи, комплекси водозабезпечення, автоматизовані установки, верстатне обладнання та безліч інших напрямків. У побутовому просторі контролери найчастіше використовуються для автоматизації інженерних систем будівель, кліматичного контролю, керування автоматичними воротами й дверима, роботи змішувальних установок, ескалаторів, індивідуального водопостачання тощо.

Програмовані контролери корпорації OMRON демонструють покращену ефективність обробки програмного коду завдяки архітектурній можливості розбиття загального алгоритму на окремі функціональні задачі. Крім того, ці апарати характеризуються високою швидкістю обчислення операцій, оптимізованою продуктивністю та можливістю формування макропротоколів, що дозволяє паралельно обслуговувати кілька комунікаційних інтерфейсів. Вони також здатні підтримувати наскрізний безперервний інформаційний обмін через три незалежні рівні мережевої ієрархії. До того ж вони мають розширений потенціал для адаптивної обробки інформаційних потоків, що виступає базовою вимогою до контролерів у процесах автоматизації сучасних виробництв.

Японська корпорація OMRON належить до провідних світових лідерів у сфері створення засобів промислової автоматизації, оскільки вона стала одним із першопрохідців у випуску програмованих логічних контролерів (ПЛК). На сьогоднішній день ПЛК, завдяки своїй гнучкості та універсальності, здатні вирішувати величезний спектр інженерних завдань і успішно інтегруються в будь-які промислові галузі, включаючи енергетичний сектор, металургійне виробництво, медичну сферу, транспортну інфраструктуру та агропромисловий комплекс.

Програмований логічний контролер (ПЛК) являє собою спеціалізований електронний пристрій, орієнтований на збір, трансформацію, аналіз, архівацію даних та генерацію керуючих директив для виконавчих механізмів. Дане обладнання побудоване на базі сучасних мікропроцесорних компонентів і функціонує в межах локальних або територіально розподілених систем керування в режимі реального часу згідно із завантаженим у його пам'ять прикладним програмним забезпеченням (рис. 3.1).

За функціональними критеріями в архітектурі ПЛК можна виокремити такі складові елементи:

- центральний процесорний елемент, який відповідає за безпосереднє зчитування і виконання команд керуючого алгоритму, а також за оперування інформаційними масивами, що зберігаються в системі;

- внутрішнє сховище даних (пам'ять) пристрою із чітко розмежованими сегментами, виділеними під збереження конкретних категорій інформації;

- блоки (модулі) вхідних сигналів, які здійснюють реєстрацію та початкову конвертацію фізичних параметрів, що надходять від вимірювальних пристроїв та датчиків технологічного об'єкта;

- блоки (модулі) вихідних сигналів, які слугують для трансляції сформованих командних директив безпосередньо на робочі органи та виконавчі блоки об'єкта автоматизації.

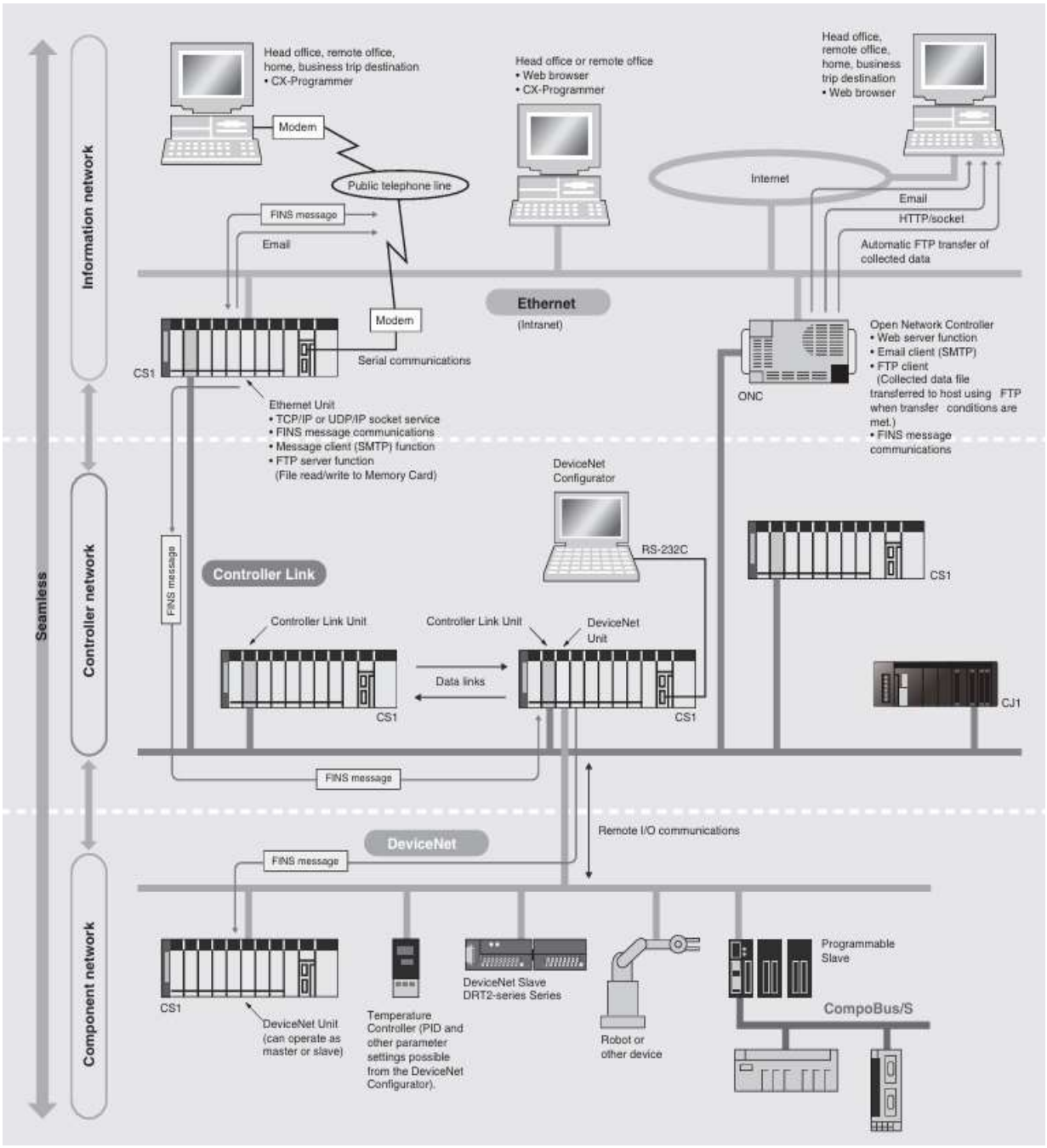


Рисунок 3.1 – Інтеграція ПЛК Omron в інформаційну систему підприємства

Широке використання в системах автоматичного управління (САУ) безперервними технологічними процесами одержали PLC класів Medium і Large. Збалансована сукупність основних характеристик і функціональних можливостей PLC цих класів визначило їх переважне використовування в САУ найвідповідальнішими об'єктами. До їх числа відносяться бортові

установки космічних агрегатів, системи управління процесами ядерних технологій, об'єкти військово-промислового комплексу, об'єкти теплоенергетики.

Контролери серії CS1 (рисунок 3.2) мають наступні функціональні можливості та технічні параметри:

1. Швидкодія (час виконання інструкції LD) – 0.04 μс;
2. Кількість інструкцій - більше 400;
3. Кількість точок вводу-виводу – 5120;
4. Місткість пам'яті програм – 250К кроків;
5. Місткість енергозалежної пам'яті даних (DM) – 448К слів;
6. Місткість карти Flash-пам'яті – 48 MB;
7. Номенклатура підтримуваних модулів (вводу-виводу, спеціальних, комунікаційних) – більше 100 типів.
8. Мережі і інтерфейси:

- Ethernet (FTP, TCP/IP, UDP/IP);
- Controller Link;
- PC Link;
- DeviceNet (CompoBus/D);
- CompoBus/S;
- ProfiBus/DP;
- Host Link;
- NT Link;
- Protocol Macros;
- Peripheral Bus.

Рисунок 3.2 - Програмований контролер SYSMAC CS1

3.2. Особливості програмування промислових контролерів Omron

Як базова концепція запропоновано структурне багатозадачне програмування (Task Programming). Програма в PLC серії CS1 розділена на задачі (циклічні задачі), які виконуються в установленому порядку (рисунок 3.3). Програми переривання теж введені як задачі (задачі переривання).

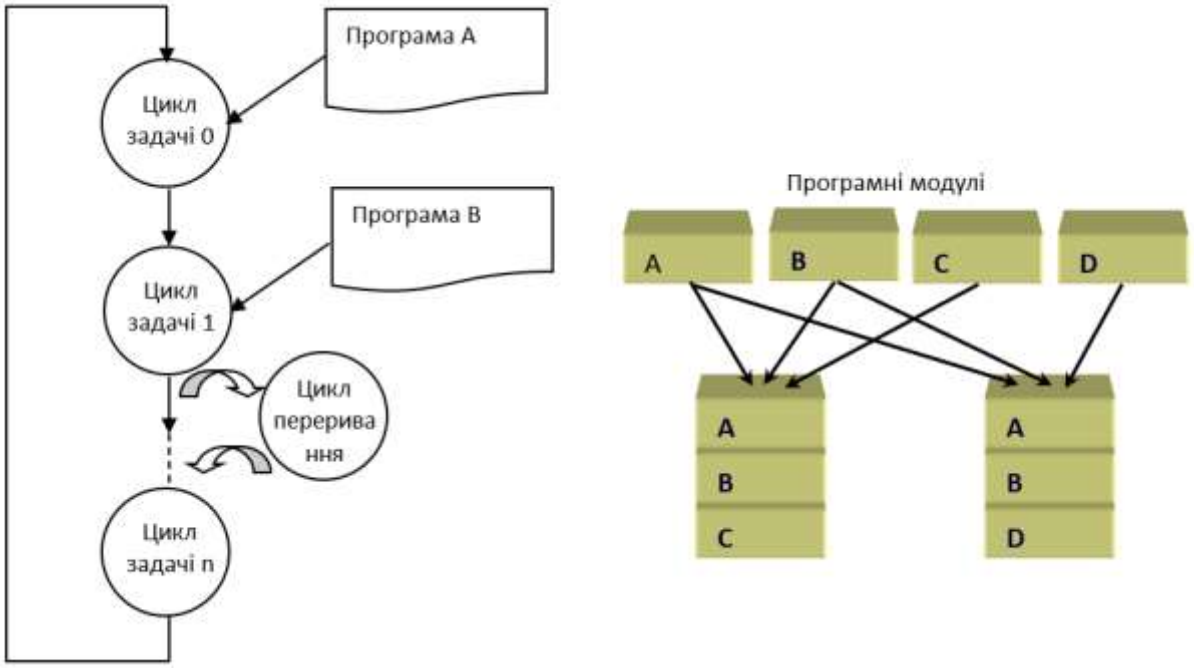


Рисунок 3.3 – Послідовність виконання програми в PLC

Контролери CS1-серії підтримують до 32 циклічних задач, 32 задачі переривання I/O, 2 задачі запланованих переривань, 1 задачу переривання при відключенні живлення і 256 задач зовнішніх переривань. Програми задач створюються у вигляді модулів з окремими функціями і метою. Надалі, ці модулі можуть використовуватися при написанні програм для аналогічних по функціональному призначенню систем.

Введення структурного програмування переслідує наступні цілі:

- стандартизація програм, як модулів;
- розробка програм декількома програмістами, що працюють паралельно;
- створення програми, більш легкої для розуміння;
- створення програм по кроках;
- використовування BASIC-подібних мнемонічних інструкцій для написання програми, що важко зробити при сходовому програмуванні (таких як умовні переходи і цикли).

Поява нових інструкцій дозволяє спростити і саму процедуру програмування. Зокрема є можливість:

- створювати програмні секції, що циклічно повторюються;
- здійснювати непряму адресацію слів;
- використовувати індексні регістри як покажчики непрямих адрес в адресному просторі даних (індексні регістри дуже зручні в комбінації з циклами, інкрементними інструкціями і інструкціями обробки табличних даних. Підтримуються авто-інкремент, авто-декремент, а також функції розгалуження.) і т.п.

Не дивлячись на наявність потужних функціональних можливостей PLC, задача розробки і програмування ряду систем з неперервними процесами як і раніше залишається вельми складною. Особливо це торкається систем управління об'єктами з взаємозв'язаними контурами

регулювання (наприклад, об'єкти теплоенергетики, нафтова, хімічна, газова промисловість, металургія). Для полегшення і ефективного рішення цих задач фірмою OMRON розроблений спеціальний модуль управління контурами регулювання LCU (Loop Control Unit) і відповідне до нього програмне забезпечення CX-Process Tool і CX-Process Monitor.

Програмний пакет CX-Process Tool служить для комбінування функціональних блоків і встановлення програмних зв'язків між ними, а CX-Process Monitor – для моніторингу системи. Вказані засоби дозволяють достатньо легко «пройти» шлях від функціональної схеми до моніторингу спроектованої системи.

На рисунку 3.4 показана найпростіша схема каскадного управління і структура її блоків. Для її реалізації будуть потрібні модулі вводу-виводу аналогових сигналів (2 вводи, 1 вивід) і модуль LCU.

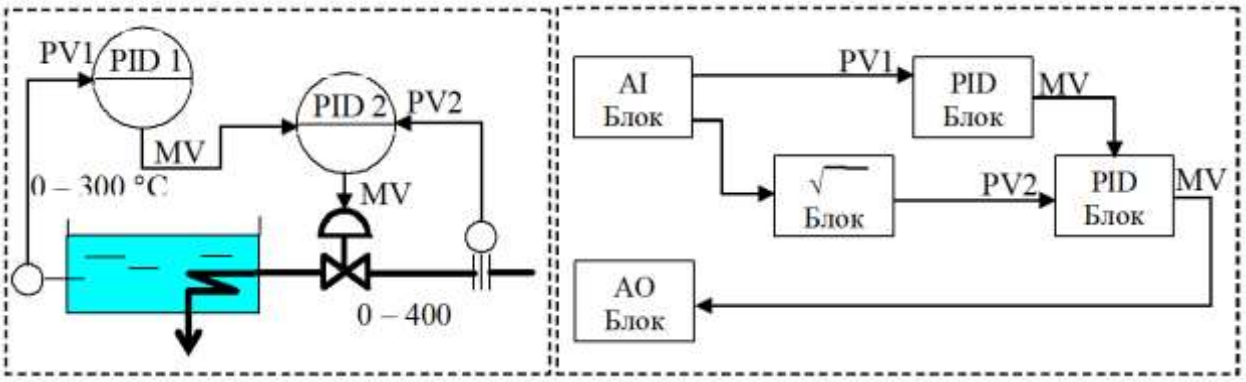


Рисунок 3.4 - Схема каскадного управління

Зв'язок аналоговими сигналами між блоками визначається програмно, в середовищі CX-Process Tool.

Для моніторингу системи управління достатньо по послідовному каналу з'єднати PLC з комп'ютером, на якому встановлений програмний пакет CX-Process Monitor (рисунки 3.5, 3.6).

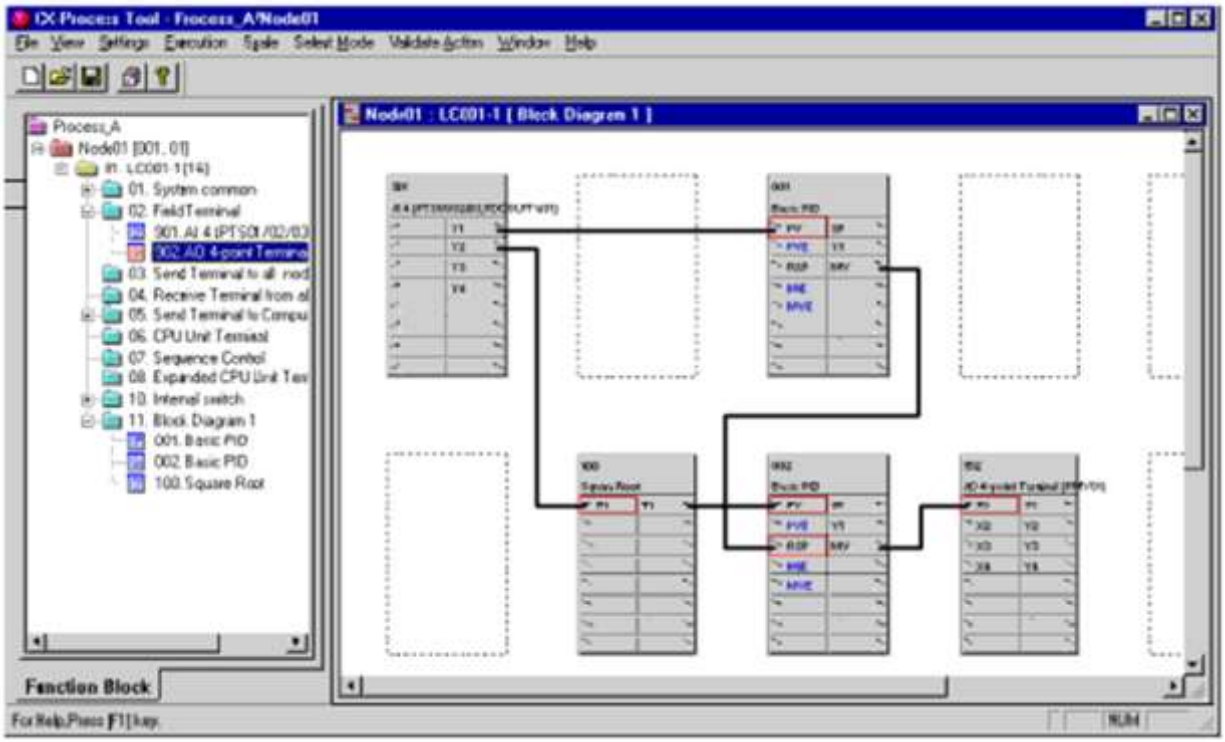


Рисунок 3.5 - Програмний пакет CX-Process Monitor

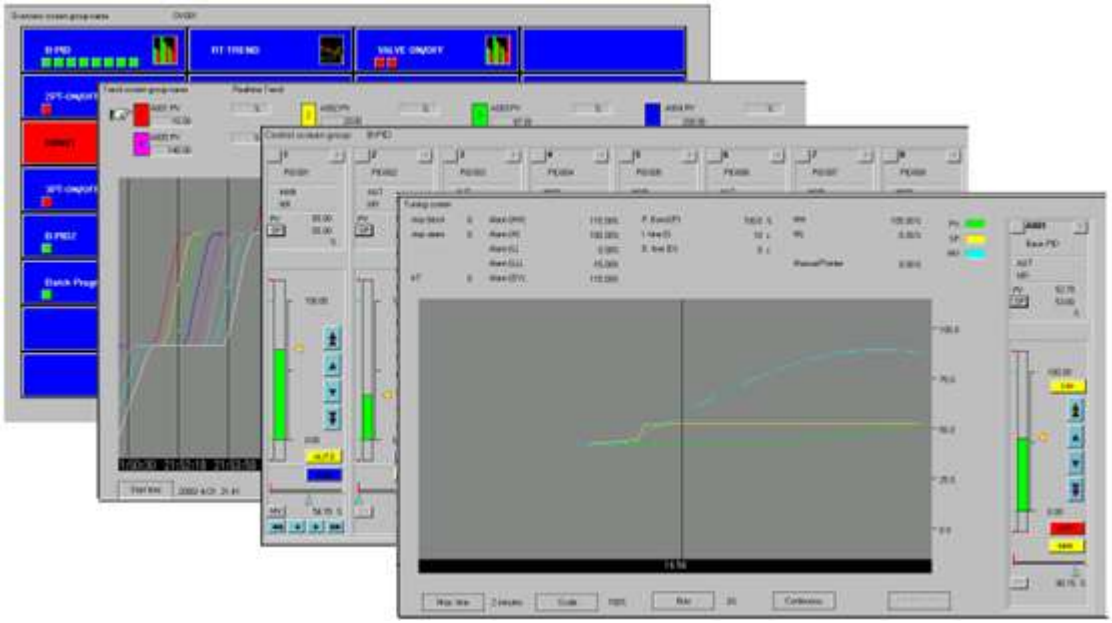


Рисунок 3.6.

ПТК побудований на базі контролера управління технологічним процесом, є програмованим логічним контролером із спеціальним модулем управління контурами регулювання (LCU) і необхідним набором модулів аналогового і дискретного вводу-виводу (I/O).

Основні переваги систем управління, виконаних на базі PLC+LCU:

- вартість значно нижча в порівнянні з традиційними системами DCS;
- займає в 4-5 разів менше місця;
- не вимагає створення спеціальних кліматичних умов, може бути встановлений безпосередньо в машинному залі.

Маючи аналогічні засоби для розробки програмного забезпечення і виконуючи ті ж функції, система управління неперервними технологічними процесами на базі PLC+LCU стає гідною альтернативою традиційним системам DCS.

Основні характеристики контролера CQM1H

CQM1H - вдосконалений контролер серії CQM1 класу Small для роботи в розподілених системах управління.

Висока швидкодія, широкі мережеві можливості. Ідеально підходить для управління технологічними агрегатами малого і середнього класу. Пам'ять програм, пам'ять даних і кількість точок вводу-виводу збільшені удвічі в порівнянні з CQM1. Швидкодія збільшена на 1/3. Можливість роботи в мережі Controller Link (32 вузли в мережі завдовжки до 1км). Просте редагування програм контролера, читання і запис даних з допомогою ПО під Windows. Вбудовувана плата (комунікаційні карти, підтримуючі Protocol Macro, високошвидкісні лічильники), широкий спектр модулів контролера забезпечують велику гнучкість в побудові АСУ ТП.

CQM1H – це компактний швидкодіючий програмований контролер, що складається з модуля живлення, центрального процесорного пристрою (ЦПУ), модулів входів/виходів і спеціальних модулів. Всі модулі з'єднуються один з одним для утворення єдиного пристрою, який звичайно вмонтовується на профілі DIN.

На ЦПУ всіх типів CQM1H є порт RS-232, який може підключатися

до управляючого комп'ютера, іншому ПК або іншим пристроям з послідовним портом.

Таблиця 3.1 - Характеристики промислового контролера

Параметр	Значення
Максимальне число точок входу / виходу	512
Модулі входу/виходу (к-ть точок)	8 / 16 / 32 точки
Пам'ять програми	15 К слів
Кількість інструкцій	137
Час виконання базової інструкції, мкс	0.357 мкс
Область IR, біт	2,720
Область SR, біт	192
Область TR, біт	8
Область HR, біт	1600
Область AR, біт	448
Область LR, біт	1024
Область DM	6144 слів
Лічильники / таймери	До 512
Комунікаційні можливості	Controller Link CompoBus/D (Devicenet) CompoBus/S AS-i Bus Host Link NT Link 1:1 Link Protocol Macro
Спеціальні функції	Аналогові входи / виходи Контроль руху / позиціонування Високошвидкісні лічильники Контроль температури Модулі давачів Модулі лінійних давачів

CQM1H має багато характерних особливостей:

-на ЦПУ знаходяться 16 вбудованих входів.

-для збільшення числа входів/виходів можна додати модулі входів/виходів.

-CQM1H володіє великою швидкодією 0.5 мкс. на базову інструкцію.

-встроєні швидкодійні таймери і лічильники.

-виходи обслуговуються відразу при виконанні команд (прямі виходи).

-CQM1H підтримує три типи переривань:

-вхідні переривання

-переривання інтервального таймера

- переривання високошвидкісного лічильника

Вхідні переривання використовуються для обробки вхідних сигналів від зовнішніх пристроїв, коли сигнали коротший, ніж час виконання програми. Можна використовувати сигнали з шиною імпульсу 0.1 мкс.

Переривання інтервального таймера можна здійснювати, використовуючи високошвидкісний інтервальний таймер.

Виходами можуть служити однофазні імпульси частотою до 5 кГц і двофазні імпульси частотою до 2.5 кГц. Переривання високошвидкісного лічильника можна об'єднати з видачею імпульсів і використати для вирішення таких прикладних задач, як управління двигуном. Високошвидкісний лічильник має 2 додаткові точки.

Імпульси частотою до 1 кГц можна видавати з контактів модуля транзисторних виходів. CQM1H має два спеціальні порти для видачі імпульсів частотою 50 кГц.

Є периферійний порт і порт RS-232, які використовуються для зв'язку із зовнішніми пристроями за допомогою наступних методів:

- HOST LINK

- RS-232

- лінія зв'язку 1:1 LINK

CQM1H за допомогою HOST LINK може зв'язуватися з персональним комп'ютером і програмованим терміналом, використовуючи команди HOST LINK.

CQM1H за допомогою RS-232 може читати дані з штрих-коду або вимірювального пристрою і виводити дані на принтер.

Можна створити лінію даних з областю даних в іншому контролері CQM1H для проглядання стану даних іншого ПК і синхронізації процесів, керованих ПК.

На контролерах CQM1H є аналогові регулятори для 4 каналів.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Заходи з безпечної експлуатації технологічного обладнання в цеху розливу газованої води

Умови роботи в цеху є складними: висока вологість та концентрація в повітрі парів різного роду хімічних речовин, які застосовуються при митті тари. Перебіг технологічного процесу розливу в ньому забезпечують: машина для витягання з ящиків скляних пляшок марки Л5-ОИ1А-1, пристрої транспортні для переміщення пляшок, пристрої транспортні для переміщення ящиків, машина пляшкомийна Л5-АММ-3, фасувально-закупорювальна машина Д5-ВД5Р-3, машина для вкладання в ящики скляних пляшок марки Л5-ОУ1А-1, машина для візуального контролю Л5-ВРК, машина етикетувальна марки Л5-ЭМА-3.

Пляшкомийна машина відноситься до найбільш небезпечних в цеху. В ній можна виділити систему з ланцюгового транспортера з приводом, насосів для води і лужного розчину, ванн з паровими барботерами для нагріву мийних середовищ. Особливість формування технологічного процесу та експлуатації машини обумовлює наступні типи небезпечних факторів для обслуговуючого персоналу: електричний, механічний, тепловий, хімічний. Обслуговуючий персонал в обов’язковому порядку повинен бути забезпечений гумовим захисним взуттям і рукавицями для захисту від теплових та хімічних опіків. У випадку попадання на шкіру миючого розчину слід в негайному порядку промити шкіру спочатку прохолодною водою, а потім слабким розчином оцтової кислоти.

Всі двигуни, насоси і корпус машини повинні бути заземленими. Всі електричні з’єднання повинні бути добре заізольованими. Небезпечні ділянки слід закрити захисними загорожами.

Технологічні трубопроводи повинні забезпечувати герметичність.

Підтікання є недопустимим фактором, оскільки створює додаткові небезпечності для обслуговуючого персоналу (слизька підлога, підвищена вологість). Зростає імовірність падіння і отримання травм, а також ураження електричним струмом.

При експлуатації транспортерів для порожньої та наповненої тари слід забезпечити відсутність фізичного контакту робітників з їх рухомими елементами, що досягається за рахунок встановлення захисних бортиків біля полотна та захисних кожухів на елементах приводу.

Після здійснення процесу миття пляшки потряпляють на бракеровку. Для цього застосовуються лампи денного освітлення, закриті матовим склом. Дана машина безпосередньої механічної небезпеки не становить, проте в умовах підвищеної вологості актуальними є ізоляція всіх електричних контактів і надійне заземлення корпуса машини. Аналогічні вимоги ставляться при експлуатації машини контролю якості закупорення, яка крім вищеназваних повинна також відповідати вимогам безпеки обладнання, яке має механічну частину (стосується до інспекційного транспортера, на якому тара перевертається на 180°)

Фасувально-закупорювальна машина забезпечує фасування води у скляну тару і її закупорення. Основними мірами захисту персоналу, передбаченими для даної машини, є ізоляція електричних контактів, заземлення корпуса машини, захист каруселі за допомогою захисної перегодки.

Вимогами з безпечної експлуатації електронасосів передбачається якісне складання і забезпечення точності монтажу. При складанні насосу слід старанно встановлювати ущільнюючі прокладки, кільця і манжети. Основними небезпечними для людей факторами роботи насосів є вібрації та можливість ураження електричним струмом внаслідок надмірної вологості. Для мінімізації і уникнення шкідливої дії вищеназваних чинників передбачається встановлення віброізоляції і заземлення.

4.2 Заходи з охорони праці і техніки безпеки при експлуатації фасувально-закупорювальної машини

Для забезпечення безпечної роботи під час експлуатації і ремонту машини необхідно дотримуватись наступних мір безпеки:

При несправності ламп пульта, що сигналізують, працювати на машині забороняється.

Всі обертові частини машини при роботі повинні бути закриті кожухами. Забороняється працювати на машині при знятих чи відкритих кожухах.

Запірна арматура (вентилі, крани, клапани), ущільнювальні пристрої і з'єднання трубопроводів повинні бути в справному стані і мати надійні ущільнення, що не допускають пропускання рідини, стиснутого повітря і вуглекислого газу.

Проходи навколо машини й у зоні обслуговування не повинні захаращуватися сторонніми предметами.

Водостоки навколо машини повинні регулярно прочищатися.

У зоні роботи операторів для захисту ніг від склобою повинний бути ґратчастий дерев'яний настил висотою 100-150 мм.

Роботи, зв'язані про ремонт і збирання чи санітарну обробку машини, повинні вироблятися тільки після відключення електроенергії і повного зняття тисків стиснутого повітря, вуглекислого газу і газованої вода у вузлах машини. Забороняється робити які-небудь ремонтні чи роботи збирання машини під час її роботи.

Видалення, склобою з машини повинне вироблятися тільки спеціальними гачками, чи щітками та совками. Забороняється видаляти склобій з машини стисненим чи повітрям водою під тиском.

Для утримання склобою в машини повинний бути металева шухляда, що має для переміщення ручки і ковзанки.

Електроустаткування повинне експлуатуватися в справному стані.

Корпуса складових частин машини повинні роздільно, кожна складова частина машини, заземлюватися із внутрішньоцеховим контуром заземлення відповідно до правил експлуатації електроустановок.

Напруги електричних ланцюгів керування і сигналізації повинні бути не більшими від 42 В, 50 Гц.

Періодичний огляд і обслуговування повинні забезпечувати справний стан: перемичок заземлення, електричних з'єднань корпуса електродвигуна, сполучних коробок, мікровимикачів і пульта з корпусами складових частин машини, знаків заземлення і попереджуючих знаків "Обережно! Електрична напруга", нанесених на кришки сполучних коробок і вивідного пристрою електродвигуна, болтів і контактних поверхонь затисків заземлюючих складових частин машини.

До обслуговування електроустаткування можуть допускатися особи обслуговуючого електротехнічного персоналу, що мають необхідну кваліфікацію по техніці безпеки відповідно до Правил техніки безпеки при експлуатації і знаючі призначення й принцип роботи машини.

4.3. Санітарно-гігієнічні вимоги до експлуатації цеху розливу газованої води

У виробничих приміщеннях найбільше прийнятно природне освітлення: світловий коефіцієнт (СК) повинний бути в межах 1:6 – 1:8. У побутових приміщеннях СК повинний бути не менше бути не менш 1:10. Коефіцієнт природного освітлення (КЕО) повинний бути передбачений з урахуванням характеру праці і зорової напруги.

При недостатнім природному освітленні варто застосовувати штучне освітлення – переважно люмінесцентні лампи. У приміщеннях з тяжкими умовами чи праці не мають постійних робітників місць варто використовувати лампи накалювання.

Штучне освітлення повинне бути представлене загальним у всіх цехах і приміщеннях, а у виробничих при необхідності – місцевим чи комбінованим.

Оптимальні і допустимі температури, відносна вологість і швидкість руху повітря встановлюються для робочої зони виробничих приміщень з врахуванням надлишків наявного тепла, важливості виконуваної роботи і сезонів року.

Температура, відносна вологість і швидкість руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень повинні відповідати нормам БніП. При кондиціонуванні виробничих приміщень повинні дотримуватися оптимальні параметри мікрокліматичних умов.

При проектуванні і монтажі нового устаткування треба забезпечити: основні проходи в місцях постійного перебування працюючих шириною не менше 1,5 м; проходи біля віконних прорізів, доступних з рівня підлоги, або площадки – не менше 1 м; проходи для огляду і регулювання апаратів і приладів – не менше 0,8 м; проходи для огляду трубопроводів і апаратів, які не треба регулювати – не менше 0,7 м; ширина проходів між автоматичними і механізованими лініями (по їх осях) і головних проїздів – не менше 2,4 м. Розриви між окремими машинами, верстатами, ємностями, розміщеними в одному ряду – не менше 0,35 м.

При розміщені стрічкових, роликових та інших транспортерів треба передбачати проходи між стіною і однією поздовжньою стороною транспортера не менше 0.7 м, а між двома паралельно розміщеними транспортерами – не менше 0,9 м.

При цьому з протилежної сторони транспортери при стрічці завширшки до 60 см можна встановлювати впритул до стіни, а при стрічці завширшки понад 60 см роблять розрив від стіни завширшки не менше 0,4 м; при наявності на транспортерах перекидних візків проходи збільшують з врахуванням виступаючої частини візка.

Одними з найбільш поширених на переробних підприємствах

небезпечних ситуацій є ситуації, пов’язані з використанням обладнання, яке має рухомі елементи (так звані механічні небезпеки). До механічних відносять небезпечності, які можуть виникнути біля любого об’єкту, здатного спричинити травму в результаті неспровокованого контакту об’єкту або його частини з людиною.

До таких небезпечних елементів на заводі в першу чергу відносяться ланцюгові та пасові передачі приводу технологічного обладнання, відкриті зубчаті передачі тощо. Секції агрегатів повинні мати двері, які легко відчиняються, запобіжні прилади, що запобігають травматизму працівників і забезпечують свободу рухів і дій операторів. Для цього монтуються механізми фотоелектричного блокування, що у випадку виникнення перепон на шляху променя світла не дозволяє ввімкнути привід машини.

Найбільш дієвими в такому випадку запобіжними заходами є створення умов, коли небезпечна частина не є легкодоступною (наприклад, закривається кожухом чи кришкою), а також застосування кінцевих електричних контактних давачів, які припиняють подачу струму у випадку відкриття або демонтажу запобіжної кришки чи кожуха.

Допустимі рівні впливу ЕМП варто оцінювати в діапазоні частот 60кгц-300МГц по напруженості електричної і магнітної складовий поля; у діапазоні частот 300МГц-300ГГц – по поверхневій щільності потоку енергії (ППЕ) випромінювання т створюваної їм енергетичному навантаженню (ЕН).

4.4. Розрахунок освітлення в цеху розливу

У цеху розміром 18 × 60 × 4,5 м потрібно створити освітленість $E_н$==300 лк у відповідності БніП II-4-79. Коефіцієнт відбиття стелі $\rho_{ст}$=70%, стін $\rho_с$=50% і підлоги $\rho_{під}$=10% . Для освітлення використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ у світильниках ЛДОР.

Знаходимо індекс приміщення

$$i = \frac{AB}{H_P(A+B)} = \frac{18 \cdot 60}{4{,}5(18+60)} = 3{,}07.$$

Приймаємо коефіцієнт запасу ***k*** =' 1,6 і коефіцієнт нерівномірності освітлення

$$z = E_{ср} / E_{мин}$$

При індексі *i* = 3,07 з табл. 4.1 одержимо η = 62 % [20–29, 30, 31].

Світильники розміщаємо в чотири ряди ($N_р$ = 4).

Визначаємо необхідний світловий потік ламп у кожнім ряді:

$$\Phi_P = \frac{E_H Szk}{N_P \eta} = \frac{300 \cdot 1080 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}6}{4 \cdot 0{,}62} \approx 230000 \text{ лм.}$$

Якщо у світильнику установити по двох лампи ЛБ (*n* = 2) потужністю 40 Вт і світловим потоком $\Phi_л$ = 3000 лм, то необхідне число світильників у ряді складе

$$N = \frac{\Phi_P}{n\Phi_Л} = \frac{230000}{2 \cdot 3000} = 38. \text{ шт}$$

Таблиця 4.1 - Коефіцієнти використання η

Тип світиль-ника	Значення коефіцієнтів відбиття			Значения η, %, при індексах приміщення і											
	$\rho_{пот}$	$\rho_с$	$\rho_{пол}$	1	1,1	1,25	1.5	1.76	2	2,25	2,5	3	3,6	4	5
Астра	70	50	10	49	50	52	55	58	60	62	64	66	68	70	73
УДП, ДРЛ	70	50	10	47	50	53	56	58	66	62	63	66	67	69	70
УДП, ДРЛ	50	30	10	41	43	47	50	53	56	57	59	60	61	63	66
ЛДОР	70	50	10	43	45	47	51	54	56	58	60	62	63	64	67

Розрахована освітленість забезпечує нормальну роботу працівників.

4.5 Розрахунок захисного заземлення апаратури

Проведемо розрахунок захисного заземлення апаратури. Для захисту від ураження електричним струмом проводиться розрахунок захисного заземлення [16]. Обладнання відноситься до категорії електрообладнання з напругою до 1000 В. Для цієї категорії допустимий опір захисного заземлення не повинен перевищувати 4 Ом.

Для заземлення вибираємо стальні труби діаметром d= 0.018 м і довжиною l = 2.5 м. Труби закопуються в землю на глибину заземлення h, причому :

$$4h / l < 2. \qquad (4.1)$$

Вибираємо h= 1 м.

Знаходимо відстань від середини труби до поверхні землі за формулою:

$$t=h+0.5*l; \quad t=1+0.5*2.5=2.25 \qquad (4.2)$$

Знаходимо опір труби таким чином:

$$R = \frac{r}{2\pi * l} * (\ln \frac{2l}{d} + 0.5 * \ln \frac{4t+1}{4t-1}), \qquad (4.3)$$

де: r – опір землі, r=40…150 Ом*м.

$$R = \frac{0,59 * 40}{2,5} * (\ln \frac{5}{0,018} + 0.5 * \ln \frac{4 * 2,25 + 2,5}{4 * 2,25 - 2,5}) = 15,06, \qquad 4.4)$$

Знаходимо кількість труб:

$$n = \frac{R * Пс}{Rz * Пе}, \qquad (4.5)$$

де Rz – опір захисного заземлення, Rz=4 Ом;

Пс – коефіцієнт сезонності, Пс=1,7;

Пе – коефіцієнт екранування, Пе=0,6.

Тоді

$$n = \frac{15,06 * 1,7}{4 * 0,9} = 8,$$

Довжина з'єднуючої труби:

$$Lp=0.5*a*n, \quad (4.6)$$

де a – відстань між трубами, яку вибираємо з розрахунку a<L, a=3.

$$Lp=0.5*3*8=12\ м,$$

Опір магістралі:

$$Rm = 0.59 * \frac{r}{b} * \ln \frac{2 * Lp^2}{b * h}, \quad (4.7)$$

де b – ширина з'єднуючої полоси, b=0,01м.

$$Rm = 0.59 * \frac{40}{0,01} * \ln \frac{2 * 12^2}{0,01}.$$

Загальний опір розподілу струму складового заземлення всього заземлюючого пристрою:

$$Rz = 1/(\frac{Пе}{Rm} * \frac{n * Пt}{R}), \quad (4.8)$$

де Пе – коефіцієнт, який враховує взаємне екранування труб, Пе=0,4;

Пt – коефіцієнт екранування труб, Пt=0,9.

$$Rz = 1/(\frac{0,4}{6530,5} * \frac{8 * 0,9}{15,06}) = 2,09 Ом.$$

Rz<4 Ом, отже розрахунок проведений правильно.

Висновки: в даному розділі проаналізовано заходи та санітарно-гігієнічні вимоги безпечної експлуатації технологічного обладняння в цеху розливу газованої води, розраховано характеристики освітлення цеху а також параметри захисного заземлення.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра вирішено актуальну технічну задачу з автоматизації технологічного процесу розливу та закупорення газованих напоїв у скляну тару.

Розроблено компонувальну схему та схему автоматизації. Спроектовано комплексну автоматичну лінію, що складається з 8 послідовних автоматів та 10 міжопераційних транспортерів. Впровадження нагромаджувачів на транспортерах дозволило забезпечити безперервний запас пляшок перед технологічними автоматами, що мінімізує ризики простою обладнання та оптимізує потік тари від початкового контролю до фінального етикетування.

Деталізовано конструктивно-технологічні рішення основного обладнання. Проведено детальний аналіз та розробку фасувально-закупорювальної машини, яка об'єднує розливочні блоки для сиропу і води, а також закупорювальний автомат із загальним приводом на єдиній станині. Оптимізовано механізми піднімальних циліндрів дозуючої каруселі та конструкцію закупорювального патрона, що гарантує точність дозування газованої води та герметичність закупорення.

Спроектовано сучасну трирівневу систему керування конвеєрами автоматичної лінії на базі сучасних програмованих логічних контролерів, датчиків технологічних параметрів та частотних перетворювачів.

Розроблено принципові електричні схеми підключення електродвигунів конвеєра та дистанційного керування інвертором.

Реалізовано систему верхнього рівня SCADA, що дозволяє здійснювати збір даних у реальному часі, візуалізувати перебіг технологічного процесу та оперативно реагувати на аварійні чи позаштатні ситуації.

Впровадження розроблених рішень дозволяє підвищити

продуктивність лінії розливу, знизити вплив людського фактора, зменшити відсоток браку та забезпечити високу енергоефективність виробництва за рахунок частотного регулювання електроприводів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Коноваленко І. В. Платформа .NET та мова програмування C# 8.0 : навч. посіб. / І. В. Коноваленко, П. О. Марущак. – Тернопіль : В. А. Паляниця, 2020 – 320 с. http://library.megu.edu.ua:8180/jspui/handle/123456789/4115
2. Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Пісьціо. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. – 324 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39189
3. Капаціла Ю.Б., Савків В.Б. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2025. 60 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48495
4. Капаціла Ю.Б., Шовкун О.П. Конструкторсько-технологічна практика. Методичні вказівки для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2025. 22 с.
5. Козбур І.Р., Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Дослідження частотних характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – с. 16. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39207
6. Козбур І.Р., «Дослідження часових характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. –

Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – 19 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39206

7. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/1551
8. Методичні вказівки по роботі з програмним симулятором "AVR simulator IDE" з курсу "Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 21 с.
9. Моделювання нелінійних систем керування у пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп’ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. - 19 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28057
10. Моделювання систем керування в пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп’ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. - 23 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28056
11. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Multisim. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо . - Тернопіль : ТНТУ Імені Івана Пулюя, 2018. - 26 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26404
12. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Proteus VSM. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з

курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ, 2018. - 26 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26397

13. Методичні вказівки до курсового проектування з курсу "Проектування систем автоматизації" / Савків В.Б., Шкодзінський О.К., Пісьціо В.П. Тернопіль : ТНТУ, 2025. 128 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48646
14. Лабораторний практикум з проектування та моделювання роботи електропневматичних схем у середовищі програмного пакету «FluidSIM Pneumatics» з курсу «Технічні засоби автоматизації» / укл. : О.К. Шкодзінський. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 32 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/31418
15. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка”. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. – 53 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/44635
16. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка” Модуль 3. «Імпульсна техніка, вторинні джерела живлення, основи цифрової електроніки» – Тернопіль: ТНТУ, 2024. -26 с.
17. Трембач Р.Б., Шовкун О.П. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Інформаційно – вимірювальні системи” Модуль І. «Вимірювальна техніка» – Тернопіль: ТНТУ., 2024. – 67 с.
18. Аналіз стійкості і якості електромеханічної слідкуючої системи. : Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Теорія автоматичного управління», для здобувачів спеціальності 174 «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка» освітньо-професійних програм «Комп’ютерно-інтегровані системи автоматики та робототехніки», «Комп’ютеризовані системи управління та прикладне програмування». / укл. І.Р. Козбур, В.П. Пісьціо, В.Б.

Савків, П.С. Федорів. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. – 67 с

19. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський)/ укл.: О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.
20. Навчально-методичний посібник до практичних заняття з дисципліни «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» для студентів освітнього ступеня бакалавр усіх спеціальностей та форм навчання / Укладачі : О. Я. Гурик, І. Б. Окіпний, В. С. Сенчишин, С. Ю. Мариненко, О. І. Король. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. 123 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48496
21. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп’ютерні мережі. Книга 1 [навчальний посібник]. Львів : «Магнолія 2006», 2013. 256 с.
22. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп’ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник]. Львів : "Магнолія 2006", 2014. 312 с.
23. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.
24. Буров Є., Митник М. Комп’ютерні мережі. (у 2-х томах). Львів, Магнолія, 2018.
25. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем. Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / А. Г. Микитиший, М. М. Митник, О. С. Голотенко, В. В. Карташов. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. – 324 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42625
26. Конспект лекцій з дисципліни «Комп’ютерні системи штучного інтелекту» для студентів спеціальності G7 «Автоматизація,

комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форми здобуття освіти / уклад. І. С. Дідич. // ТНТУ. – 2025. – С. 92. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/50293

27. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995
28. Савків В. Б., Ковтко А. М. Мутаційне тестування як механізм зворотного зв’язку в автоматизованій системі генерації модульних тестів на основі великих мовних моделей. Електротехнічні та інформаційні системи. 2026. № 109. С. 278–287. DOI: https://doi.org/10.32782/EIS/2026-109-33.
29. Ковтко А., Савків В. Архітектура автоматизованої системи генерації тестів. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences. 2026. Т. 365, № 3. С. 346–352. DOI: https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-365-48.
30. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. – 2-ге вид., доп. та випр. – Харків : Світ Книг, 2014. – 495 с.
31. Процеси та апарати харчових виробництв: навч.-мет. посіб. для самост. роботи студентів / І. А. Філімонова. – Умань : Візаві, 2014. – 105 с.
32. Савків В.Б., Капаціла Ю.Б., Михайлишин Р.І. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2021. 50 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/35172
33. Савків В. Б., Ковтко А. М. Мутаційне тестування як механізм зворотного зв’язку в автоматизованій системі генерації модульних тестів на основі великих мовних моделей. Електротехнічні та інформаційні системи. 2026. № 109. С. 278–287. DOI: https://doi.org/10.32782/EIS/2026-109-33.

34. Ковтко А., Савків В. Архітектура автоматизованої системи генерації тестів. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences. 2026. Т. 365, № 3. С. 346–352. DOI: https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-365-48.
35. Технологічне обладнання харчових виробництв: навч. посіб. / О. І. Гавриш, В. В. Василів, М. В. Пономаренко, А. М. Куц. – Київ : НУХТ, 2021. – 412 с.