

3.2 Технологія "холодної пастеризації" молока

Постановка проблеми у загальному вигляді.

Конкурентоздатність продукції залежить від багатьох чинників, зокрема, від вартості сировини, собівартості виробництва, якості готових товарів, важливості для життя, її поширення та насичення на ринку тощо. Традиційні методи, що застосовуються у виробництві практично вичерпали свої можливості щодо ефективності та кардинального покращення якісних, технологічних, економічних та споживчих можливостей. Людство увійшло в еру нанотехнологій та мікросвіту де є широке поле для удосконалення всіх виробничих та технологічних процесів, урізноманітнення продукції, підвищення енергоефективності та зниження собівартості.

Молоко та молочні продукти є обов'язковими складовими раціону харчування людини і від технології виробництва, заготовки та переробки залежить безпечність, смак та вартість кінцевого продукту. Молоко – цінний біологічний продукт до складу якого входять жири, білки, лактоза, вітаміни, мікроелементи тощо. Якість молока, як продукту споживання, залежить від наявності в ньому різних мікроорганізмів, в тому числі і патогенних. При чому, чим більша кількість бактерій, тим нижча якість молока. Мікроорганізми існують у молоці на будь-якому етапі його заготівлі та переробки [106, С. 180-182].

Первинне молоко за своїми властивостями містить такі недопустимі компоненти, як частинки забруднення і крові, клітини з вимені, осад, домішки і, звичайно, бактеріальну флору, тому молоко підлягає первинній обробці: очищенню від твердих домішок, слизу, іншого бруду та охолодженню до 4-8⁰С.

Існують такі способи пригнічення, розвитку та знищення мікроорганізмів у молоці. Їх можна поділити на три групи: біологічні, хімічні і фізичні.

Біологічні.

До біологічних способів, відносять засоби боротьби, що пригнічують ріст колоній мікроорганізмів, наприклад при активізації ферментів, антитіл та

лейкоцитів наступає бактерицидна фаза здатна призупинити процес розмноження мікрофлори в молоці, а застосування антибіотиків може знезаражувати сире молоко.

Перший спосіб вже застосовується під час первинної обробки продукту інфрачервоним низькоінтенсивним лазерним випромінюванням, зокрема на підприємствах Казахстану [107], а другий має суттєві недоліки, зокрема тому, що антибіотики залишаються в молоці навіть після термічної обробки та його зберіганні і чинять негативну дію на організм споживача, а також ускладнюють технологію при виробництві молочних продуктів. В Україні цей спосіб у молочній промисловості не застосовується [108].

Хімічні.

Ця група способів впливу на молоко консервантами, дезінфектантами і їх комбінаціями. Найкращим з них вважається спосіб консервування перекисом водню (H_2O_2) [108, 109].

В Україні цей спосіб заборонений [110]. Консервувати будь-якою хімічною речовиною молоко, призначене для харчових цілей, категорично заборонено, так як в результаті реакції з молоком можлива залишкова токсичність хімічних речовин.

Фізичні.

Найпоширеніші способи - фізичні. Вони діють як на знищення, так і на видалення мікроорганізмів із молока. Данні способи можуть здійснюватися без зміни температури молока і з її зміною (з підвищенням або зниженням).

До цих методів належать: фільтрація, відцентрове очищення, охолодження, заморожування, кип'ятіння, пастеризація, стерилізація, ультрапастеризація, поверхневе тертя, тонкошарова пастеризація, електропастеризація, обробка струмами НВЧ, ультразвуком, електромагнітними коливаннями тощо [107, 109, 110, 111].

За звичай зниження показників забруднення продукту досягається традиційними способами: механічним очищенням - фільтрацією або сепарацією в центрифугі, обробкою теплом або холодом.

Загальним недоліком традиційних способів обробки молока для інактивації мікрофлори є:

- низька енергетична ефективність при інактивації (для знищення мізерної маси мікроорганізмів доводиться нагрівати до високих температур увесь об'єм продукту з витримуванням його за максимальної температури певний час);
- зміна природного смаку та руйнування цінних вітамінів при обробці;
- технологічні втрати продукту (вихід на режим та завершення процесу обробки).

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Застосування альтернативних способів обробки молока підвищує енергоефективність процесу, зменшує негативний вплив на біологічну цінність продукту, але, переважно, вимагає складного дорогого обладнання чи має обмеження.

«Холодна пастеризація» вже тривалий час цікавить виробників молочних продуктів через високу енергоефективність та мінімальний вплив на природну якість молока. Особливо це стосується виробників твердих сирів. Сучасна технологія виробництва твердого сиру передбачає бактеріальне очищення сирого молока в бактофузі (за необхідності) при температурі вище 60⁰С, але це не гарантує знешкодження патогенної мікрофлори. Тому Інтерес до вивчення впливу ультрафіолетового випромінювання (УФВ) на компоненти і мікрофлору харчових продуктів обумовлений перспективою їх цілеспрямованого використання для поглибленого регулювання властивостей одержуваних продуктів. Зміни, що відбуваються під дією УФВ у бактеріях і нижчих організмах, проходять наступні три стадії: збудження і посилення руху, початок деструктивних змін, смерть клітини в результаті фотохімічних процесів. Крива бактерицидної ефективності УФВ відповідає спектру поглинання нуклеїнових кислот, тобто мішенню УФВ є молекули ДНК. Найчутливішою до дії ультрафіолетових променів функція клітини - поділ. Опромінення при певній

дозі викликає зупинку поділу близько 90% бактеріальних клітин. Ультрафіолетові промені викликають в нуклеїнових кислотах зміни, які згубним чином впливають на ріст, поділ, спадковість клітин, тобто на їх основні прояви життєдіяльності [112].

Також, існують дані, які доводять, що окрім прямої дії на ДНК, ультрафіолетові промені індукують непрямим шляхом мутації, викликаючи в клітинах утворення вільних радикалів і перекисів, що мають мутагенні властивості. Такі ж мутагенні речовини виникають під дією УФ-світла в рідких живильних середовищах для культивування бактерій, що помітно збільшує у них частоту мутацій [113].

Летальна дія УФВ на хвороботворні мікроорганізми і його безсумнівна ефективність давно добре відомі і підтверджені багатьма випробуваннями. Найбільш позитивні результати і успішна ефективність досягнуті за рахунок використання УФВ при дезінфекції води через її високу прозорість при знешкодженні вірусів, бактерій, дріжджів, найпростіших організмів і інших патогенів людини [114].

Велике коло досліджень присвячене харчовим рідинам, що має обмежену прозорість (меланж, молоко тощо) [115, 116, 117, 118, 119, 120].

Наприклад, при впливі УФВ дозою $\sim 2,860$ мДж/мл, та середній швидкості потоку 168 мл/хв, досягається зниження *Mycobacterium avium subsp.* Даний тип бактерій вкрай стійкий до ультрафіолетового опромінення, що підтверджує дослідження інших авторів [121, 122, 123], які досліджували інактивацію *Mycobacterium avium subsp. Paratuberculosis* при УФ-впливі в повітрі і воді.

У 2002 році, група дослідників [124] провела досить серйозне випробування, метою якого було вивчення впливу пульсаційного УФ лазерного випромінювання (248 нм) на знезараження коров'ячого молока. Об'єм молока, в кварцовій кюветі, становив 1 мл. Ріст мікроорганізмів - мезофільних аеробів (*E. coli* O157: H7, *L. monocytogenes*, *Salmonella choleraesuis*, *Yersinia enterocolitica*, *Staphylococcus aureus*, *Aeromonas hydrophila*, *Serratia marcescens*) був відзначений у зразках, опромінених дозами від 0,3 до 6,66 Дж/см², однак при збільшенні дози

до 12,6 Дж/см² та тривалості впливу до 56 с, не було виявлено росту жодного із зазначених мікроорганізмів протягом 21 дня. Таким чином, автори встановили, що, в принципі, рівень бактеріального обсіменіння можливо контролювати за допомогою лазерного пульсаційного ультрафіолетового випромінювача, і досягти принаймні скорочення кількості бактерій на 2 порядки.

Основною перевагою ультрафіолетової обробки молока крім його бактерицидного ефекту є можливість забезпечення при певних режимах мінімального впливу на білки [125, 126, 127]. Тому питання застосування УФВ для знезараження молока, як це робиться для води досить актуальне.

Мета статті. Розробка інноваційної технології та обладнання для інактивації мікрофлори молока.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Молоко є складною системою, основні компоненти якої - жир, білок, лактоза, вітаміни, мінеральні речовини тощо - можуть існувати у колоїдному або розчиненому у воді стані. Типове молоко корів європейських порід містить 87% води, 3,8% жиру, 3,4% білків, 4,5% цукрів (лактози тощо) та 1,3% твердих речовин. Всього у ньому містяться близько 80 мінеральних елементів, причому в ідеальній для засвоєння нашим організмом формі [106].

Зважаючи на обмежену прозорість молока для УФ променів запропоновано пристрій – знезаражувач-молокоочисник, який забезпечує відділення мікрофлори від основної частини молока і поєднує технологію механічного очищення продукту в центрифугі із знезаражуванням бактерій в тонкому прошарку в секції ультрафіолетового двостороннього опромінення [128].

Завдяки високій швидкості обертання барабану 2 очисника закріпленого на вертикальному валу пристрою очищене від механічних та біологічних домішок молоко надходить до секції УФ опромінювання, утворену двома коаксіальними кварцовими трубками різного діаметру 5 та 6. Під дією відцентрових сил мікрофлора молока з більшою питомою вагою осідає в прошарку товщиною до 100мкм на внутрішній стінці зовнішньої кварцової трубки 5 та обробляється УФ

променями з необхідною енергетичною дозою за допомогою світлодіодів 7, 8 (рис.1) [128].

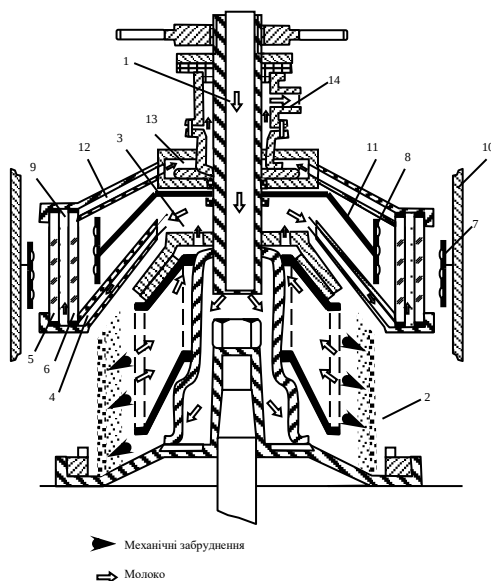
При розрахунку параметрів секції ультрафіолетового двостороннього опромінювання спочатку скористаємося рівнянням нерозривності потоку рідини для визначення руху молока в центрифугі [129].

$$\rho_1 \cdot v_1 \cdot S_1 = \rho_2 \cdot v_2 \cdot S_2, \quad (1)$$

де v_1, v_2 - швидкості рідини в тонких перерізах 1 та 2, м/с;

ρ_1, ρ_2 - рідини в 1 та 2 перерізах, кг/м³;

S_1, S_2 - площа перерізів 1 та 2 рідини, м².



Для рідини, що не стискується ($\rho_1 = \rho_2 = \rho$) рівняння нерозривності потоку спрощується

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2, \text{ або } S_1 \cdot v_1 = \text{const} \quad (2)$$

Із рівняння 2 слідує, що чим більший переріз трубки течії, тим менша швидкість течії і навпаки.

У випадках коли рідина рухається по руслу змінного перерізу і різної висоти, то для деякого її об'єму змінюється і кінетична і потенціальна енергія об'єму рідини. А тому можемо, після перетворень, записати

Рисунок 1. Будова знезаражувача-молокоочисника

1- центральна молочна трубка; 2 – барабан очисника; 3 – приймальник очищеного молока; 4 – канал ротору; 5,6 – кварцові трубки секції УФ опромінювання; 7,8 – зовнішня та внутрішня світлодіодні матриці; 9 – канал для молока секції УФ опромінення; 10 – мідний кожух установки; 12 – вивідний канал.

$$\frac{\rho \cdot v_1^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h_1 + P_1 = \frac{\rho \cdot v_2^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h_2 + P_2, \quad (3)$$

або для довільного перерізу

$$\frac{\rho \cdot v^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h + P = \text{const} \quad (4)$$

де $\frac{\rho \cdot v^2}{2}$ - динамічний тиск, $\rho \cdot g \cdot h$ - гідростатичний тиск, P – статичний тиск.

Вздовж вертикалі на бактерію, що існує в молоці діє сила Архімеда та сила тяжіння. Результуючу силу, що діє на бактерію вздовж осі ОУ можемо визначити з виразу

$$F_p = m \cdot g - F_A = \rho_B \cdot V \cdot g - \rho_m \cdot V \cdot g = (\rho_B - \rho_m) \cdot V \cdot g, \quad (5)$$

де ρ_B - густина бактерії, кг/м³;

ρ_m - густина молока, кг/м³;

m – маса бактерії, кг;

F_A – сила Архімеда, Н;

V – об'єм бактерії, м³

Якщо в центрифугі заповненій рідиною бактерія об'ємом V_B рухається навколо вертикальної осі на відстані r від неї то при початку руху центрифуги виникають сили інерції в горизонтальному напрямку по осі ОХ

$$\vec{F}_{in} = -m_B \cdot \vec{a} , \quad (6)$$

де $\vec{a}$ - прискорення неінерціальної системи відліку відносно інерціальних, м/с²;

m_B – маса бактерії, кг;

F_{in} – сила інерції, Н .

Для обертальних систем це прискорення може бути доцентровим ($a = \omega^2 \cdot r$), а сили інерції, направлені від осі обертання, є відцентровими. В центрифугі, що рухається відцентрові сили діють як на завислі тверді частинки, так і на частинки рідини, тим самим створюючи умови для сепарації (розділення) частинок за фракціями.

У центрифугі з рідиною що рухається, відцентрові ефекти спричиняють виникнення в рідині згідно рівнянню (4) додаткового динамічного тиску

$$P = \frac{\rho_m \cdot v_m^2}{2} ,$$

де P - динамічний тиск, Па;

ρ_m - густина молока, кг/м³;

v_m^2 - швидкість руху молока, м/с

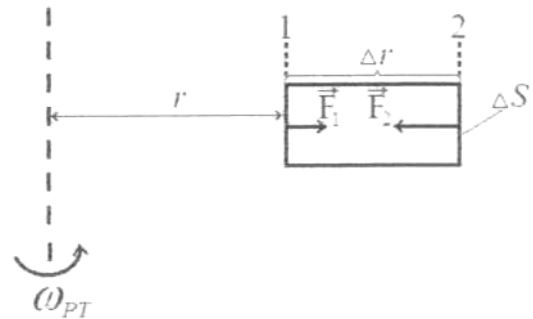


Рисунок 2. Обертання бактерії в центрифугі

Оскільки $v = \omega_{PT} \cdot r$, то

$$P = \frac{\rho_m \cdot \omega_{PT}^2 \cdot r^2}{2} . \quad (7)$$

де ω_{PT}^2 - кутова швидкість ротора, рад/с;

r – відстань (радіус) від осі обертання до бактерії в центрифугі, м

Розглянемо завислу в рідині бактерії з мікророзмірами. Для спрощення будемо вважати її циліндричної форми з поперечним перерізом ΔS (рис. 2). На грані 1 і 2 бактерії будуть діяти сили, викликані динамічним тиском. Їх рівнодійна буде направлена по осі ОХ та визначатися виразом

$$F_{PD} = F_2 - F_1 = \left(\frac{\rho_m \cdot \omega_{PT}^2 \cdot (r + \Delta r)^2}{2} - \frac{\rho_m \cdot \omega_{PT}^2 r^2}{2} \right) \cdot \Delta S = \frac{\rho_m \cdot \omega_{PT}^2 \cdot \Delta S}{2} (r^2 + 2 \cdot r \cdot \Delta r + \Delta r^2 - r^2) \quad (8)$$

Якщо $\Delta r \ll r$, то можна знехтувати доданком Δr^2 та отримати

$$F_{PD1} = \rho_m \cdot \omega_{PT}^2 \cdot r \cdot \Delta r \cdot \Delta S = \rho_m \cdot V \cdot \omega_{PT}^2 \cdot r, \quad (9)$$

тому, що $\Delta r \cdot \Delta S = V$ – об'єм бактерії, м³.

Згідно з (6) відцентрова сила інерції, що діє на бактерію дорівнює

$$F_{in} = \rho_B \cdot V \cdot \omega_{PT}^2 \cdot r. \quad (10)$$

Отже, в рухомій центрифугі рівнодійна сил, що діють на бактерію в горизонтальному напрямку визначається виразами (9) та (10)

$$F_{P1} = F_{in} - F_{PD1} = (\rho_B - \rho_m) \cdot V \cdot \omega_{PT}^2 \cdot r. \quad (11)$$

Якщо $\rho_B > \rho_m$, то бактерія буде рухатись в молоці від осі обертання, але якщо $\rho_B < \rho_m$, то до осі.

У дійсності, оскільки на бактерію діють дві результуючі сили – одна вздовж осі ОХ – F_{P1} , яку ми розглядали, а інша вздовж осі ОУ – F_P , то бактерія

рухатиметься за певною гвинтовою траєкторією, що сходиться або розходиться від осі залежно від співвідношення величин ρ_B і ρ_M .

Однією з основних ознак за якою оцінюють ефективність роботи очищувальної центрифуги є *фактор поділу*. Він показує, у скільки разів значення відцентрового прискорення, що досягається в центрифугі, більше за прискорення вільного падіння, тобто:

$$\Phi_{\Pi} = \frac{F_{P1}}{F_P} \quad (12)$$

де Φ_{Π} – фактор поділу, в.о.;

F_{P1} - сила, що діє на бактерію в горизонтальному напрямку, Н;

F_P – сила, що діє на бактерію вздовж осі ОУ, м;

Із рівнянь (5) та (11) отримуємо

$$\Phi_{\Pi} = \frac{(\rho_B - \rho_M) \cdot V \cdot \omega_{PT}^2 \cdot r}{(\rho_B - \rho_M) \cdot V \cdot g} = \frac{\omega_{PT}^2 \cdot r}{g}. \quad (13)$$

Для технічних розрахунків замість кутової швидкості ω застосовують частоту обертання ротора n , об/хв. Ураховуючи, що $\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot n}{30}$, та зважаючи на те, що $\pi^2 \approx g$ (за числовим значенням), одержуємо досить просту розрахункову залежність для визначення фактора поділу центрифуги, яка має ротор радіусом r :

$$\Phi_{\Pi} = \frac{n^2 \cdot r}{900}. \quad (14)$$

Наприклад, для центрифуги з ротором діаметром 0,1 м та частотою обертання 10000 об/хв, фактор поділу $\Phi_{\Pi} = (10^4)^2 \cdot 0,1 / 900 = 111111$. Таким чином, дія відцентрових сил більш ніж на чотири порядки є вагомішою, ніж дія сил тяжіння. Це означає, що $v_B \gg v_M$ тобто, бактерії практично миттєво досягають

прошарку де ефективно діють УФ промені, а тому розміщення джерела УФВ треба починати одразу з нижнього краю секції опромінювання.

Ефективність знезараження бактерій визначається дозою УФ опромінювання. Найчутливіша до дії ультрафіолетових променів функція клітини – поділ. Опромінення в дозі 10 Дж/м^2 викликає зупинку поділу близько 90 % бактеріальних клітин, а щоб викликати загибель 90 % клітин, пригнічення синтезу нуклеїнових кислот і білків, утворення мутацій, необхідно довести дозу опромінення до $\approx 20 \text{ Дж/м}^2$ або $\approx 20 \text{ Вт/с}\cdot\text{м}^2$. Більш чутливі до впливу ультрафіолетового випромінювання – віруси і бактерії (палички, коки) у вегетативній формі. Менш чутливі – гриби та найпростіші мікроорганізми. Найбільшою стійкістю володіють спори бактерій. [129].

Незважаючи на мікророзміри ефективної товщини прошарку (до 100 мкм) для дії УФ променів, що утворюється в результаті відцентрових сил, існує імовірність затінення бактеріями одна одну чим зменшується летальна дія УФВ. Для компенсації цього фактору, особливо в імпульсному режимі опромінювання, необхідно збільшити час дії випромінювання.

Користуючись методикою [Л. 114] спочатку визначаємо бактерицидну ефективність УФ-опромінювання мікроорганізмів, що описується експоненціальним рівнянням

$$J_{\text{бк}} = \left(\frac{N_B}{N_0} \right) \cdot 100 = (1 - \exp(-\sigma_s D_s)) \cdot 100\%, \quad (7)$$

де $J_{\text{бк}}$ - бактерицидна ефективність УФ-опромінювання бактерій, в.о.;

N_B – кількість бактерій, що вижила, шт.;

N_0 – початкова кількість бактерій, шт.;

σ_s - фоточутливість бактерії, $\text{м}^2\cdot\text{с/Вт}$;

D_s – летальна доза для бактерії при УФ-опромінюванні, $\text{Вт/с}\cdot\text{м}^2$.

Взявши довідкові значення фото чутливості визначаємо дозу опромінювання з потрібною бактерицидною ефективністю 99% чи 99,9%

$$D_s = -\ln(1 - J_{\text{бк}} \cdot 10^{-2}) / \sigma_s, \text{Вт} / \text{с} \cdot \text{м}^2. \quad (8)$$

До розмірності величини дози опромінювання ($\text{Вт}/\text{с} \cdot \text{м}^2$) входить потужність, площа та тривалість випромінювання. Це означає, що знаючи продуктивність установки, геометричні розміри секції опромінювання і летальну дозу для інактивації бактерій, можна визначити встановлену потужність джерела УФ випромінювання у визначеному діапазоні довжини хвиль (рис. 3).

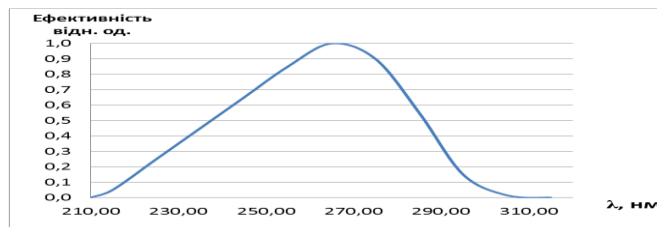


Рисунок 3. Крива ефективності бактерицидної дії УФ-опромінювання [114].

Для практичного використання знезаражувача-молокоочисника важливе застосування енергоефективного, екологічно-чистого джерела УФВ. Донедавна це було практично неможливо, але останні досягнення вчених та інженерів японської дослідницької лабораторії Nippon Telegraph and Telephone Corporation, під керівництвом доктора Йошитака Таньясу створено діоди на основі нітриду алюмінію, які можуть випромінювати УФ-промені з довжиною хвилі 210 нм. [130]. Продукція компанії Prolight Opto Technology Corp. також забезпечує світлодіодне випромінювання в ультрафіолетовому С діапазоні 265-280 нм для знезараження бактерій [131]. Виробники пропонують одиничні світлодіоди з потужністю випромінювання до 20 мВт, світлодіодні збірки до 100 мВт та світлодіодні матриці близько 1 Вт.

Зважаючи на особливості будови секції УФ-опромінювання та відсутності широкої номенклатури промислових світлодіодних матриць, застосовуємо світлодіодні збірки PB2D – 4KLA-KC з номінальним струмом живлення 500 мА та потужністю випромінювання 90 мВт [131]. Встановлюємо їх рядковим способом (послідовно один за одним) на нерухомому мідному кожусі установки 10 в якості зовнішньої матриці випромінювання та на мідній циліндричній поверхні 8 в якості внутрішньої матриці. Вибрана одинична потужність світлодіодної збірки здатна забезпечити щільність випромінювання понад 180 мВт/см², а кількість встановлених збірок залежить від загальної потужності УФВ, що визначається дозою опромінення бактерій та продуктивністю установки.

У схемах підключення світлодіодних матриць визначальними факторами їх надійності виступають два основні фактори – достатня площа радіатора для відводу тепла і стабілізація струмів живлення. Це безпосередньо пов'язано з посиленою деградацією напівпровідникових кристалів при перевищенні їх температур вище максимально допустимої. Необхідна площа радіатора забезпечується мідним кожухом 10 установки та внутрішньою мідною циліндричною трубкою 7, а струм живлення – двома драйверами ДР1, ДР2.

До підвищення температури кристала призводить, як недостатня площа радіатора охолодження, так і занадто високий струм, що проходить по них. Робочі величини постійного струму вказуються в параметрах світлодіодів, а для орієнтовного вибору площі радіатора в практиці використовують значення 20-25 см² на 1 Вт потужності. При цьому слід враховувати, що така площа необхідна при температурах навколишнього повітря до 35 °С. При більш високих температурах робочу площу радіатора слід збільшити або доповнити активним охолодженням. У нашому варіанті радіатором слугує нерухома мідна кришка камери опромінювання пристрою.

Для уникнення проблеми коли в разі виходу з ладу одного діода в послідовному ланцюзі, перестає випромінювати світло весь ланцюжок, з'єднуємо всі світлодіодні збірки всередині матриці одночасно послідовно і

паралельно (рис. 4). Така особливість значно зменшує можливість виходу з ладу LED-матриці внаслідок перегорання одного елементу.

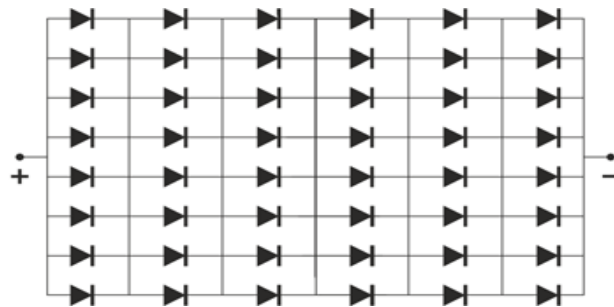


Рисунок 4. Схема послідовно-паралельного з'єднання світлодіодних збірок

Для вирішення питань електроживлення та управління обладнанням пропонується використання схеми, що складається з ланки керування електроприводом та ланки керування випромінюванням.

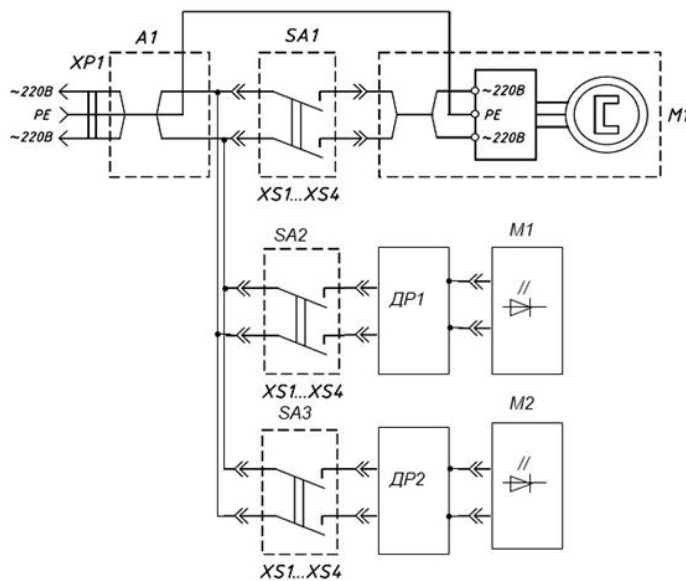
Перша призначена для пуску, повільного розгону барабана разом з камерою опромінювання до максимальних робочих обертів та для зупинки пристрою. До її складу входить: - електродвигун *MI*, два вимикачі *SA1...SA2* та шнур живлення *XP1*.

Електродвигун дає можливість, після включення пристрою в електричну мережу, повільно набирати робочі оберти. Барабан із секцією опромінювання обертається за годинниковою стрілкою, якщо дивитися на них зверху.

Вимикачі клавішного типу мають два робочі положення:

- а) «Увімкнено» - на клавіші нанесений символ I ;
- б) «Вимкнено» - на клавіші нанесений символ 0.

Друга ланка призначена для керування УФ-світлодіодними матрицями із зовнішньої та внутрішньої сторони секції УФ-опромінювання для знезаражування бактерій у молоці (рис. 5). До складу ланки входять: секція УФ-опромінювання з матрицями діодів, драйвери для живлення матриць, вимикач.



Установка працює так. Свіжовидоєне молоко із ємності через центральну молочну трубку 1 зезаражувача-молокоочисника надходить до барабану очисника 2. Після очищення від механічних домішок та слизу, через приймальник очищеного молока 3 та канал 4 ротору воно потрапляє до секції двостороннього УФ-опромінення молока з двома коаксіальними кварцовими трубками різного діаметру 5 та 6 де опромінюється УФ світлом

Рисунок 5. Електрична схема керування знезаражувачем-молокоочисником
A1- шнур живлення; *M1*- двигун; *ДР1*, *ДР2* – драйвери; *SA1*, *SA2*, *SA3* - вимикачі; *XP1*- мережна вилка; *XS1*- гніздо на виводі двигуна; *XS2*, *XS3* - гнізда на виводі драйверів; *PE* - заземлення.

зовнішніх 7 та внутрішніх 8 матриць світлодіодів в діапазоні 215-290 нм в тонкому прошарку ($\leq 0,1$ мм), що утворюється в каналі 9 між оптично прозорими трубками під дією відцентрової сили. УФ матриці світлодіодів: зовнішні встановлені по периферії ротора на кожусі 10, а внутрішні – на мідній трубці 11 концентрично прикріпленій на нерухомій центральній металевій молочній трубці 1. Бактерії, що знаходяться в дисперсному середовищі та мають щільність більшу за щільність продукту, при обертанні ротора під дією відцентрових сил зміщуються від центру до периферії та утворюють тонкий прошарок на внутрішній поверхні зовнішньої кварцової трубки 5. Дрібніші та легші бактерії розміщуються біля зовнішньої поверхні внутрішньої кварцової трубки 6. Ці

шари опромінюються УФ світлодіодами з обох сторін. Молоко, примусово рухаючись по зазору між кварцовими трубками, продовжує оброблятися до необхідної дози опромінювання, після чого поступає через вивідний канал 12 до вивідного приймача 13, а далі – до приймально-вивідного пристрою 14 і на охолодження чи подальшу технологічну переробку. Для забезпечення імпульсного режиму опромінювання електрична схема установки комплектується генератором імпульсів.

Після обробки молока обладнання промивають та дезінфікують, а потім збирають згідно інструкції.

Висновок.

Таким чином, розроблена установка виконує дві функції первинної обробки молока – механічне очищення та інактивацію ультрафіолетовим опромінюванням мікрофлори в тонкому прошарку, що покращує показники якості продукту. Крім того, така конструкція забезпечує зменшення коштів на придбання двох технологічних пристроїв – сепаратора для очищення молока та пастеризатора. Крім того, завдяки використанню одного двигуна на всю установку та високоефективного екологічно-чистого світлодіодного УФВ значно зменшуються енерговитрати.