

УДК 638.171

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Таврійський державний агротехнологічний університет

імені Дмитра Моторного

Науково-дослідний інститут механізації землеробства півдня України

Науково-дослідна частина

Для службового використання

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТОВ «ВРМ-АГРО»
Лагода Д.І.

«31» 03 2020 р.



ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор університету
д.т.н., професор Кюрчев В. М.

« » 2020 р.



ЗВІТ

про науково-дослідну роботу

**Тема: «Розробка конструкції установки для
очищення воскової сировини»**

Проректор з наукової роботи,
д.с.г.н., проф.

Директор НДІ агротехнологій та
екології, д.т.н., проф.

Науковий керівник,
д.т.н., проф.

Начальник НДЧ,
к.е.н., доц.

О.А. Єременко

О.П. Прісс

К.О.Самойчук

Ю. О. Прус

Мелітополь - 2021

Виконавці

Керівник проекту,
доктор технічних наук,
професор



К.О. Самойчук
(реферат, обґрунтування теми,
методика дослідження, аналіз
методів очищення воску, обробка
результатів експериментальних
досліджень, Розробка конструкції
установки для очищення)

Виконавці:
доктор технічних наук,
професор



В.Ф. Ялпачик
(аналіз методів освітлення воску,
порівняння методів очищення з
існуючими на ТОВ "ВРМ-АГРО",
розробка схеми технологічного
процесу очищення воску)

Кандидат технічних наук,
доцент



С.В. Петриченко
(підготовка експериментального
обладнання, проведення
експериментальних досліджень,
розробка рекомендацій для
виробництва)

РЕФЕРАТ

Звіт з НДР: 20 с., 11 рис.

Об'єкт дослідження: технологічний процес промислового очищення воскової сировини

Мета роботи: підвищення ефективності очищення воскової сировини в умовах ТОВ «ВРМ-АГРО».

Методи дослідження: експериментальні методи центрифугування, седиментаційні методи розділення емульсій, електричні методи розділення електростатично заряджених часток.

В результаті проведених досліджень:

- проаналізовані існуючі методи промислового очищення воскової сировини;
- визначені закономірності, що підвищують якість технологічного процесу;
- проведені експериментальні дослідження з метою визначення оптимального способу очищення від механічних домішок;
- розроблена схема технологічного процесу;
- розроблена конструкція кристалізатора для очищення воскової сировини;
- розроблені рекомендації щодо параметрів та режимів роботи кристалізатора для очищення воскової сировини.

Ключові слова: бджолиний віск, очищення, освітлення, електроочищення, кристалізація.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. Аналіз матеріально-технічної бази очисного обладнання для воскової сировини підприємства ТОВ «ВРМ-АГРО».....	6
2. Огляд існуючих способів механічного очищення воскової сировини та перспективи їх застосування в ТОВ «ВРМ-АГРО».....	6
3. Експериментальні дослідження процесу очищення воску від механічних домішок	10
4. Розробка схеми технологічного процесу очищення воскової сировини.....	17
5. Розробка конструкції установки для очищення воскової сировини	18
6. Розробка рекомендацій для виробництва щодо параметрів та режимів роботи установки для очищення воскової сировини.....	19
Висновки.....	20

ВСТУП

Бджолиний віск являє собою складну композицію з більш, ніж трьохсот речовин, 111 з них було ідентифіковано. Склад воску від *Apis mellifera* унікальний і відрізняється від воску, що виділяється іншими видами бджіл (*Apis florea* і *Apis cerana florea*). Складні ефіри (головним чином ефіри церіловий, меліссінового спиртів і відповідних кислот) складають від 70 до 75%, воску. Вільні жирні кислоти (лігноцеринова, церотинова, меліссінова і ін.) - від 12 до 15%.

Інші компоненти воску (близько 11%) представлені окси- і кетакіслотами, вуглеводами парафінового ряду, одно- і двохатомними спиртами, мінеральними речовинами, смолами, рослинними пігментами, ароматичними речовинами, вітамінами, холестерином, тритерпенами і іншими речовинами. У ньому виділені і ідентифіковані 11 білків, тритерпени (сквален і ланостерин), стероли (холестерол і його ефіри) і субстанції, що позитивно впливають на ріст рослин, такі, як міріциловий спирт, гиббереллін і стероїд рапсового масла. Бджолиний віск містить невелику кількість води (від 0,1 до 2,5%) і каротиноїдів (12,8 мг в 100 г воску).

До теперішнього часу не вдалося отримати бджолиний віск на основі хімічного синтезу. Саме тому проблема очищення воскової сировини в промислових масштабах є актуальною.

1. Аналіз матеріально-технічної бази очисного обладнання для воскової сировини підприємства ТОВ «ВРМ-АГРО»

Механічне очищення воскової сировини в ТОВ «ВРМ-АГРО» відбувається методами відстоювання і механічного очищення, причому переважна частина механічних домішок відділяється на етапі відстоювання.

Недоліки існуючого методу:

1. Відносно великий строк витримки розплавленого воску у відстоювальному танку (10-14 діб). Це призводить до зменшення продуктивності процесу очищення і погіршення якості воскової сировини (розвитку окислювальних процесів).

2. Не повне очищення від механічних домішок. Дрібні частки домішок (1-4 мкм і менше) внаслідок броунівського руху часток розплавленої воскової сировини і значно більшого за 14 діб розрахункового часу осадження (згідно формули Стокса) не можуть бути видалені таким способом.

Таким чином, для підвищення продуктивності очисного обладнання на підприємстві ТОВ «ВРМ-АГРО» та покращення якості очистки необхідна розробка більш ефективних способів та обладнання.

2. Огляд існуючих способів механічного очищення воскової сировини та перспективи їх застосування в ТОВ «ВРМ-АГРО»

Для очищення воскової сировини використовують механічні та хімічні способи.

2.1 Механічні способи очищення.

1) Гравітаційне очищення. Може здійснюватись під дією сил тяжіння (спосіб, який на час обстеження використовується підприємством) і за рахунок відцентрових сил на сепараторах.

Очищення на відцентрових сепараторах дозволяє значно прискорити процес відділення механічних домішок (підвищити продуктивність), організувати безперервний процес очищення і підвищити повноту відділення (покращити якість сировини).

Недоліком способу є труднощі з виділенням домішок розмірами 1 мкм і менше, а також неможливість відділити легкі частки, що мають подібну до воску щільність.

2) Очищення методом повільної спрямованої кристалізації воску. Цей метод використовується у бджільництві здавна й дозволяє навіть у домашніх умовах без використання коштовного обладнання дуже якісно очистити віск

від домішок. Принцип цього способу полягає у поступовому і тривалому охолодженні воскової сировини (1-3 доби) таким чином, щоб охолодження відбувалось «зверху-вниз», тобто температура верхніх шарів воску була нижча за нижні. Для виконання цих умов зазвичай використовують теплоізольовану ємність, в якій знаходиться нагріта до 90-100 °С очищена вода і розплавлений (температура близько 100 °С) віск. Для поступового охолодження необхідно витримати співвідношення об'єму води до об'єму воску – приблизно 3:1. Крім того ширина (діаметр) ємності повинна бути більша за її висоту.

При поступовій кристалізації (переході у твердий стан) розплавленої речовини відбувається витискання чужорідних часток (домішок) у розплав. Даний спосіб ґрунтується на хімічному законі, згідно з яким при замерзанні рідини (і застиганні воску) спочатку в найбільш холодному місці кристалізується основна речовина, а вже в останню чергу в найменш холодному місці твердне все, що було розчинено в основній речовині. В умовах поступового охолодження і повільного збільшення в'язкості розплаву частина утримуваних у воску механічних домішок має більш розтягнутий період седиментації [<https://bochkameda.net/produkcija-pchelovodstva/ochistka-voska-sposoby-i-metody.html>].

Так як розплав у способі, описаному вище, знаходиться в нижній частині, то домішки повільно витискаються вниз. Сила тяжіння є додатковим чинником їх руху в нижню частину розплаву.

Для підвищення ступеня очищення процедуру розплавлення-кристалізації повторюють декілька разів.

Переваги такого способу:

- можливо виділити найдрібніші частки домішок воскової сировини (менше 1 мкм);

- значно менша (в 8-10 разів) ніж при відстоювання тривалість процесу;

- не вимагає коштовного обладнання.

3) Відділення домішок під дією змінного електромагнітного поля.

Принцип такого очищення заснований на наявності електричного заряду на частинках, які необхідно виділити. В високовольтному електричного полі заряджені частки рухаються у напрямку електродів де концентруються.

Переваги способу:

- висока продуктивність очищення;

- можливість виділити найдрібніші частки (менше 1 мкм);

- низькі енерговитрати (на порядок менші, ніж при використанні відцентрових сепараторів).

Недоліки:

- принципова схема очищення електродів від домішок не розроблена.

4) Фільтрування

При цьому методі очищення віск пропускають через ряд спеціальних фільтрів, що дозволяє з легкістю видалити великі частинки забруднень. Зазвичай цей спосіб використовується на початку технологічної схеми очищення в якості грубої очистки [<https://gusiyablioni.com/pchely/parovaja/peretopka-voska-v-domashnih-usloviyah.html>]

5) Перетопка у воді

При замішуванні воску з водою і витримці його певний час в такому стані у воді розчиняються водорозчинні домішки. Але переважна більшість забруднень залишаються у воску.

6) Очищення адсорбентами

Адсорбенти один з найефективніших продуктів для очищення воску від колоїдних домішок (пігментів). Після такої обробки кінцевий матеріал набуває високої якості, і його можна використовувати навіть в косметології. В якості адсорбентів використовують: активоване вугілля, фулерова земля або монтморилоніт. Будь який з них необхідно додати в розплавлений віск у співвідношенні близько 4-10% від усієї маси продукту при безперервному перемішуванні. Після цього суміш вистояють (для адсорбування часток забруднень) і пропускають через фільтри для видалення адсорбентів.

Зменшити адсорбцію воску можна очистивши його розплав в чотирихлористому вуглеці (тетрахлорометані). Щоб поліпшити показники, рекомендується після введення адсорбенту протягом 40-60 хвилин продути розплав паром або гарячим повітрям при температурі 90-140 °С.

2.2 Хімічні способи очищення воскової сировини

1) Очищення кислотами

Колоїдні елементи, що містяться у воску, сильно псують його якість, щоб уникнути попадання в кінцевий продукт таких речовин віск очищають за допомогою хімічних сполук. Наприклад, часто використовується сірчана та соляна кислоти. Також широко застосовується лимонна, оцтова, щавлева й ортофосфорна кислоти. Вже очищений попередньо продукт знову розтоплюють і додають концентровану кислоту. На 100-120 кг воску в залежності від ступеня його забруднення використовують 50-300 мл H_2SO_4 і близько 400 л води. Температура воску при цьому повинна бути не нижче

70 °С. Темний пробійний віск в результаті цього очищається і набуває жовтого кольору.

2) Методи освітлення воску

Причинами темного кольору воскової сировини можуть бути:

- забруднення воску механічними (темного кольору) домішками;
- окислювальні процеси.

Окислюється віск при тривалому впливі кисню («старий» віск), причому каталізатором цього процесу є температура.

Методи освітлення воску залежать від причин його потемніння. Якщо віск містить велику кількість забруднень, то для його освітлення необхідно видалити домішки з воскосировини. При інтенсивному окисленні воску необхідно використовувати:

- хімічні методи відбілювання;
- відбілювання під дією сонячного (ультрафіолетового) опромінення.

Для хімічного відбілювання додають хімічні речовини, наприклад, розчин перекису водню, 20% лужний або 0,01% розчин марганцівки або біхромату калію. Цей спосіб псує якість воску, спричиняючи незворотні зміни у фізико-хімічних властивостях натурального воску.

Можна очистити ще додатково, додавши в віск, що знаходиться в киплячій воді, міцний водний розчин гідропіріту. Розчин піде на дно посудини і буде бурхливо кипіти, пронизуючи віск бульбашками повітря. Після такого очищення віск буде світло-жовтим, але його потрібно буде віджати від внесеної в нього бульбашками вологи.

Для відбілювання на сонячному світлі необхідно тонкий шар воску витримати на сонячному світлі. Такий спосіб відбілювання вимагає великих площ та досить малопродуктивний. Але не вносить негативних змін у структуру воску.

В літературі по очищенню воску є інформація стосовно якості очищення від домішок методами кристалізації та електростатичної обробки. «Однак очищення воску методом відстоювання не дозволяє видалити різні хімічні і колоїдно-хімічні забруднення - вони практично в початкових кількостях залишаються в сировині за рахунок своїх відмінних електростатичних і адсорбційних сил. До колоїдно-хімічних забруднень відносяться: ліпіди личиночного корну і перги, речовини коконів, частина екскрементів. Щоб всі вони перейшли в воду необхідно зняти з них заряди - і

сировина відразу ж стане світліше.» [<https://bochkameda.net/produkcija-pchelovodstva/ochistka-voska-sposoby-i-metody.html>]

З наведеного аналізу можна зробити висновки по підвищенню якості технологічного процесу очищення воскової сировини.

1) Процес відстоювання воску неефективний з точки зору продуктивності та якості. При витримці при високій температурі активуються окислювальні процеси у воску і колір стає більш темним.

2) Найбільш перспективні з проаналізованих способів механічного очищення – відцентрове очищення на центрифугах, повільна спрямована кристалізація та обробка електричним полем.

3. Експериментальні дослідження процесу очищення воску від механічних домішок

3.1 Центрифугування воску

Центрифугування розплавленого воску проводили на центрифугі з параметрами:

- частота обертання ротора 1300 об/хв;
- діаметр ротора – 0,5 м.

Основною проблемою проведення при центрифугуванні є швидке охолодження воску оточуючим повітрям всередині центрифуги до температури кристалізації. Внаслідок більшої колової швидкості нижньої частини пробірки (периферія ротора) кристалізація відбувалась в першу чергу в цій частині. При початку кристалізації воску дослід повинен бути припинений.

Температура повітря всередині центрифуги підтримувалась в діапазоні 50-60 °С. В якості пробірок для центрифуги використані полімерні преформи, які характеризуються низької теплопередачею через стінки (це необхідно для зменшення часу охолодження воску). Після центрифугування преформи з воском охолоджували холодною водою та звільняли твердий віск від преформи.

Результати обробки показані на рис. 1.



Рис. 1. Зразки продукції після центрифугування (відповідно зверху вниз): 6 хв, 3 хв і без центрифугування.

Навіть після центрифугування протягом 3 хвилин в нижній частині пробірки збирається видимий темний осад, кількість якого незначно збільшується при підвищенні часу центрифугування з 3 до 6 хв. Після 6 хвилин починалась кристалізація. Колір воску після центрифугування ставав більш світлим – тобто відбувалось часткове освітлення воску. Але ступінь освітлення – несуттєва.

При підвищенні температури вище 70 градусів вдалося збільшити час центрифугування до 10 хв (рис. 2).



Рис. 2. Центрифугування: 10 хв (зліва), 6 хв (справа).

Якість очищення повільно зростає, про що свідчить колір воску і товщина шару темного осаду внизу пробірки.

При подальшому збільшенні часу центрифугування (при відповідному підвищенні температури повітря всередині центрифуги) колір та товщина шару осаду не змінювались.

На наступному етапі дослідження впливу центрифугування до розплавленого воску в пробірку додавалась гаряча вода, температурою 90-95 °С (рис. 3).



Рис. 3. Центрифугування воску з додаванням води.

На рисунку чітко видно тонкий шар забруднень, які виділені відцентровими силами. Їх щільність більше за віск, але менша ніж у води (1000 кг/м³). Домішки з більшою щільністю були відділені до продажу воску на ТОВ «ВРМ-АГРО».

3.2 Перетопка у воді та хімічне освітлення воску

Для перетопки воску використовували дистильовану воду у співвідношенні 2:1 до воску. Тривалість перетопки становила 2 години. Після цього віск з водою остигали на повітрі природним шляхом (скляна ємність для перетопки не мала теплоізоляції).

Освітлення хімічним способом проводили перекисом водню (3%), який додавали з розрахунку 20 мл на 100 мл рідкого воску.

Результати показані на рис. 4.



Рис. 4. Порівняння (відповідно справа наліво) вихідного воску, перетопленого у воді та освітленого перекисом водню.

На рисунку показано, що після перетопки колір воску стає більш світлим, але суттєве освітлення відбувається лише після хімічного очищення. Після перетопки вода забруднюється темно-сірими частками, які переходять з воску у воду. Після очищення перекисом водню в нижній частині зразка воску після застигання наявні вкраплення твердих часток сірого кольору, тобто відбувалось помірне осадження домішок. Після хімічного очищення стає менш виразним специфічний запах воску.

Суттєве освітлення воску після хімічного очищення свідчить про те, що потемніння вихідного воску викликане передусім окислювальними процесами «старіння» воску.

Крім освітлення перекисом водню провели експериментальне дослідження освітлення лимонною кислотою. Колір змінюється суттєво, але запах воску та специфічна структура на зломі показує, що поряд з процесами освітлення відбуваються небажані зміни у фізико-хімічній структурі воску.

3.3 Повільна спрямована кристалізація воску

Для цього способу використовували скляну ємність об'ємом 1...2 літри. На 1 частину воску додавали 2-3 частини дистильованої води. Температуру води і воску доводили до 100 °С, після чого ємність поміщали у теплоізоляцію (пінопласт, товщиною 5 см). Час застигання воску в теплоізоляції – 1 – 1,5 діб. Результати показані на рис. 5.



Рис. 5. Порівняння зразків воску після перетопки у воді (зліва) та після кристалізації (справа).

Різниця у кольорі між цими зразками суттєва. Після повільної кристалізації у нижній частині воску сконцентрована значна частина домішок темно-сірого кольору, які були витіснені з воску в процесі повільного охолодження (рис. 6).



Рис. 6. Нижня частина твердого зразку воску після повільної кристалізації.

Кількість відділених забруднень більша, ніж при центрифугуванні. Вода після повільної кристалізації стає брудною, причому в більшій мірі, ніж після перетопки у воді. Змінюється і колір виділених часток: при центрифугуванні від майже чорний, а після кристалізації – сірий. Це свідчить про те, що після центрифугування відділюються лише крупні частки. Про більш якісне очищення від домішок при поступовій кристалізації, ніж після центрифугування свідчить більш світлий колір воску.

Причому температура в приміщенні, де відбувалась повільна кристалізація була 13-14 °С, а об'єм води – 0,5-1,2 літри. При більшому об'ємі води (10 і більше літрів) та більш високій температурі повітря кристалізація триває до 3 діб. Зменшення швидкості кристалізації воску здатне підвищити повноту відділення домішок з отриманням воску кращої якості.

3.4 Очищення у змінному електромагнітному полі

При проведенні експериментальних досліджень за цим методом використовували металеві електроди з відстанню між ними 20 мм. Висока напруга на електроди подавалась через трансформатор, що підвищує, ТВС-1020 та ЛАТР для регулювання вихідної напруги від 0 до 8 кВ. Напруга вимірювалась за допомогою електростатичного кіловольтметра С-196. Для вимірювання сили струму використовувався міліамперметр М-4200. Температура воску підтримувалась в діапазоні 75-85 °С. Час обробки – 5-10 хв. Принципова електрична схема установки наведена на рисунку 7.

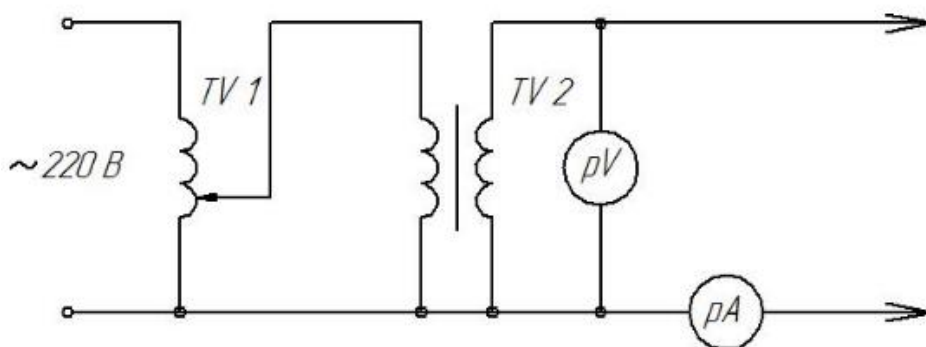


Рисунок 7. Принципова електрична схема установки

Результати обробки показані на рис. 8.

До обробки візуально не спостерігалась наявність у воску часток бруду. В процесі обробки біля електродів концентрувалась велика кількість скупчень часток забруднень, які при агломерації ставали видимими. Після обробки віск фільтрували через фільтр з розмірами пор 3-10 мкм. При цьому на фільтрі спостерігалась велика кількість темних частинок.

При застиганні фільтрованого воску його колір ставав незначно світлішим.

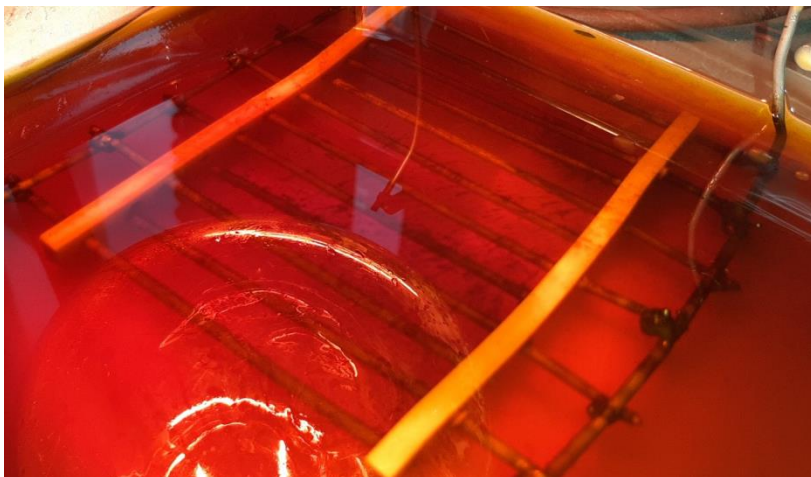


Рис. 8. Виділення часток забруднень під впливом електромагнітного поля.

Слід зауважити, що:

- лише 50-60% площі кювети з воском біли покриті електродами;
- максимальний час обробки був обмежений 10 хв, після чого не відбувалось видимої концентрації нових часток забруднень, але мікрочастки, не видимі оком могли концентруватись і більш тривалий період;
- агломерати забруднень після зняття електричного поля знову розосередилися;
- фільтрація воску після електрообробки забезпечує лише часткове відділення домішок.

Таким чином потенціал електроочищення воску в проведеному експериментальному дослідженні використаний не повністю.

Порівняння воску після кристалізації та електричного очищення.

Порівняння повноти відділення домішок з воску після поступової кристалізації та електрообробки показано на рис. 9.



Рис. 9. Зразок після очищення кристалізацією (зліва) та після електроочищення (справа).

Колір воску після кристалізації більш світлий, що свідчить про більш якісне очищення методом поступової кристалізації.

Крім того віск після кристалізації розплавляли та використали для електроочищення. В попередньо очищеному кристалізацією воску не відбулося виділення часток забруднень. Таким чином повнота виділення забруднень у метода поступової кристалізації – максимальна.

3.5 Порівняння методу поступової кристалізації воску з існуючим на ТОВ методом відстоювання

В результаті проведених досліджень найбільш ефективним (по факторам повноти відділення домішок і економічної ефективності) визнано методи поступової кристалізації.

Для порівняння повноти відділення домішок після існуючого на ТОВ «ВРМ-АГРО» методу відстоювання воску протягом 14 діб, зразок очищеного цим методом воску був очищений методом поступової кристалізації (1,5 доби) (рис. 10).



Рис. 10. Віск, очищений поступовою кристалізацією після проведення відстоювання на ТОВ «ВРМ-АГРО».

В результаті очищення колір воску став більш світлим і виділена значна кількість домішок.

4. Розробка схеми технологічного процесу очищення воскової сировини

В результаті проведеного аналізу існуючих методів очищення воску та проведених експериментальних досліджень зразків воску, які використовуються на ВРМ-АГРО, пропонується така схема очищення воску.

1. Сортування воскової сировини (за ступенем забруднення та видом воску)
2. Подрібнення (при необхідності, для зменшення витрат енергії на плавлення)
3. Плавлення (для проведення операцій попереднього очищення)
4. Грубе фільтрування на прес-фільтрах (існуючими на виробництві методами)
5. Перекачування розплавленого воску в кристалізатори
6. Очищення методом повільної спрямованої кристалізації
7. Вилучення воску з кристалізатору та видалення забруднень (механічним шляхом)
8. Упаковка

При використанні досить якісної сировини операції 3–5 можуть бути вилучені з технологічного процесу.

5. Розробка конструкції установки для очищення воскової сировини

Для остаточного очищення воскової сировини методом повільної спрямованої кристалізації пропонується використовувати кристалізатор, схема якого представлена на рисунку 11.

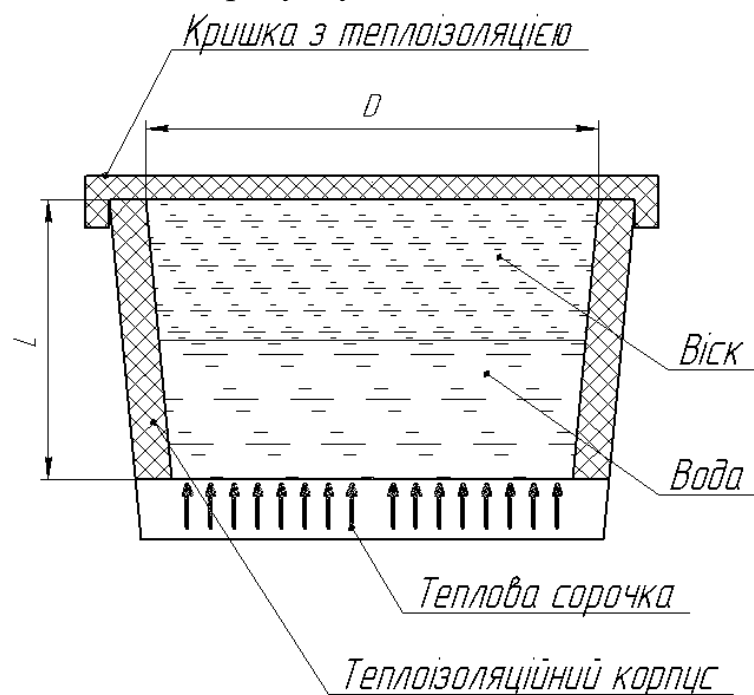


Рис. 11. Конструкція кристалізатора

Кристалізатор являє собою ємність з кришкою виготовлену з корозійностійкого матеріалу, з тепловою сорочкою для парового розігріву. Також можуть бути застосовані електронагрівальні елементи, вбудовані в дно кристалізатора, так як нижня частина кристалізатора буде заповнена водою і безпосереднього контакту електронагрівальних елементів з воском не буде (це може призвести до перегріву воску). Стінки та кришка повинні бути заповнені теплоізоляційним матеріалом з коефіцієнтом теплопровідності не більше $0,05 \dots 0,07 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Товщина шару теплоізоляції повинна бути не менше 10 см, щоб забезпечити поступове зниження температури вмісту не швидше за 1 К/год.

Для полегшення вивантаження очищеного твердого воску кристалізатор повинен мати конусні стінки. Для збільшення зони контакту між воском і водою бажано, щоб діаметр ємності був більше її висоти. Ємність кристалізатора повинна бути не менше 25-30 літрів, щоб забезпечити вміст не менше 15 літрів очищеної води, при співвідношенні кількості води до воску 2,5–3,5/1.

6. Розробка рекомендацій для виробництва щодо параметрів та режимів роботи установки для очищення воскової сировини

Для ефективної роботи кристалізатора рекомендується використовувати наступні режими роботи. Ємність кристалізатора заповнити очищеною водою приблизно на $2/3$ об'єму. Використовуючи підігрів довести воду до кипіння. Додати розплавлений та попередньо профільтрований віск (або куски воску) до заповнення ємності. Використовуючи підігрів довести температуру вмісту кристалізатора до $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Закрити герметично кришкою (накрити тканинним теплоізоляційним матеріалом (<https://prom.ua/Teploizolyatsionnye-tkani.html>) для зменшення витрати тепла. Витримати до повного застигання воску. Тривалість застигання повинна бути не менше 1,5 доби (реальна тривалість застигання залежить від конструктивних особливостей кристалізатора та умов оточуючого середовища. При збільшенні тривалості кристалізації покращується повнота відділення домішок. У випадку недостатнього очищення воску, пов'язаного з занадто швидким охолодженням, необхідно передбачити додаткове керування температури електронагрівальних елементів (або води, що подається у сорочку нагріву кристалізатора) таким чином, щоб електронна система поступово знижувала температуру (плавню з 70 до $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом

1,5-2 доби). Тривалість та інтенсивність підігріву в процесі кристалізації потрібно визначити додатковими дослідженнями в умовах виробництва.

Після повного застигання воску необхідно вивантажити вміст кристалізатору. Забруднену воду утилізувати, а з воскового злитку видалити залишки забруднень механічним шляхом.

Висновки

1. В результаті аналізу існуючої в ТОВ «ВРМ-АГРО» технології очищення воскової сировини встановлено, що якість очищення та продуктивність існуючих методів (тривалого відстоювання) недостатні та вимагають пошуку більш ефективних апаратурних схем реалізації очищення та часткового освітлення воску.

2. В результаті аналізу закономірностей, що здатні підвищити якість технологічного процесу очищення воску визначені найбільш ефективні методи очищення від механічних домішок в ТОВ «ВРМ-АГРО»: поступової кристалізації, відцентрового очищення та електрообробки.

3. Експериментальні дослідження визначення якості відцентрового очищення, поступової кристалізації та електрообробки показали, що найбільш повне відділення домішок забезпечує метод поступової кристалізації. При його реалізації в умовах ТОВ «ВРМ-АГРО» цей метод не вимагає використання коштовного обладнання, тому може бути рекомендований для його впровадження замість існуючого на підприємстві методу відстоювання воску.

4. Розроблена схема технологічного процесу очищення воску, конструкція кристалізатора та режимні параметри для підвищення ефективності очищення воску в ТОВ «ВРМ-АГРО».