

Висновки. Аналіз уравнень (1,3) і графіків показав, що к зниженню віброускорення на толкателі, як следствие і вібраційної навантаження на оператора приводить збільшення зусилля на толкателі, зменшення жорсткості амортизатора, а також робота овочерезальних машин с продуктами с більш низкими модулями упругості.

Перспектива дальніших досліджень – розробка методики розрахунок віброакустичних характеристик машин для нарізання харчових продуктів.

Література

1. Заплетніков І.Н. Віброакустичні характеристики обладнання підприємств харчової промисловості і методи їх покращення. / І.Н. Заплетніков – Донецьк: ДонНУЕТ, 2005. – 265 с.
2. Заплетніков І.М., Кіріченко В.О., Севаторова І.С. Визначення порівняльних шумових характеристик овочерізок / Заплетніков І.М., Кіріченко В.О., Севаторова І.С. // Наукові праці / Одеська нац. акад. харч. технолог. – 2010. – Вип. 37. – С.303-307.
3. Заплетніков І.М. Дослідження відносних шумових характеристик очищувального та подрібнювального обладнання ресторанного господарства / І.М.Заплетніков, В.О. Кіріченко, І.С. Севаторова // Обладнання та технології харчових виробництв : Темат. зб. наук. пр. – Донецьк : ДонНУЕТ. – 2011. – Вип. 26. – С.63-68.
4. Ревякін Д.О. Амортизуючий штовхач для овочерізальних машин / Ревякін Д.О., Заплетніков І.М. // Науково-технічна творчість студентів з процесів і обладнання харчових виробництв : зб.тез Міжнарод. студ. наук.-практ. конф. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2013. – Вип.5. – С. 116.
5. Ревякін Д.О. Штовхач до овочерізок / Ревякін Д.О., Заплетніков І.М., Севаторова І.С. // Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: наукові пошуки молоді : Тези доп. всеукр. наук.-практ. конф. молод. учених і студ. – Харків : ХДУХТ, 2014. – С.342

УДК 637.134

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПУЛЬСАЦІЙНОГО АПАРАТУ З ВІБРУЮЧИМ РОТОРОМ

Самойчук К.О., канд. техн. наук., доцент, Івженко А.О., асистент
Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь

У статті представлено результати аналітичних і експериментальних досліджень по визначенню продуктивності пульсаційного апарату з вібруючим ротором.

The results of analytical and experimental researches of determination of productivity of pulsation machine with a vibrating rotor is represented.

Ключові слова: гомогенізація, продуктивність, роторно-пульсаційний апарат, вібрація, дослідження.

Постановка проблеми. Диспергування і гомогенізація - широко розповсюджені процеси в харчовій промисловості. При виробництві молочних продуктів широкий багатофакторний вплив на оброблюваний продукт відбувається у роторно-пульсаційних апаратах (РПА), який призводить до утворення стабільних вискодисперсних емульсій [1]. Не дивлячись на значну кількість публікацій і перспективність використання РПА у молочній промисловості, сфера їх використання обмежена високоякісним перемішуванням і емульгуванням. На заводі їх використанню в якості гомогенізаторів молока є присутність у оброблюваному продукті часток жиру великої фракції, які потрапили у зону недостатнього енергетичного впливу і не були зруйновані [2]. Позбавлені цього недоліку різновид РПА, ротор яких здійснює коливання вздовж вісі обертання [3]. Пульсаційні апарати з вібруючим ротором (ПА з ВР) ефективні завдяки рівномірній дисипації потужності на межі розділу фаз дисперсного та дисперсійного середовища, що значно покращує дисперсний склад продукту. Крім того у такій конструкції РПА істотно виражений резонансний ефект, що істотно знижує кількість енергії, що підводиться до об'єму продукту і збільшує амплітуди коливань дисперсних часток, що підвищує ступінь гомогенізації. Такі переваги ПА з ВР призводять до зниження енерговитрат гомогенізації на 15-30%, і покращенню якості дисперсного складу молочної емульсії [4]. Але дослідженню таких типів РПА присвячена обмежена кількість робіт.

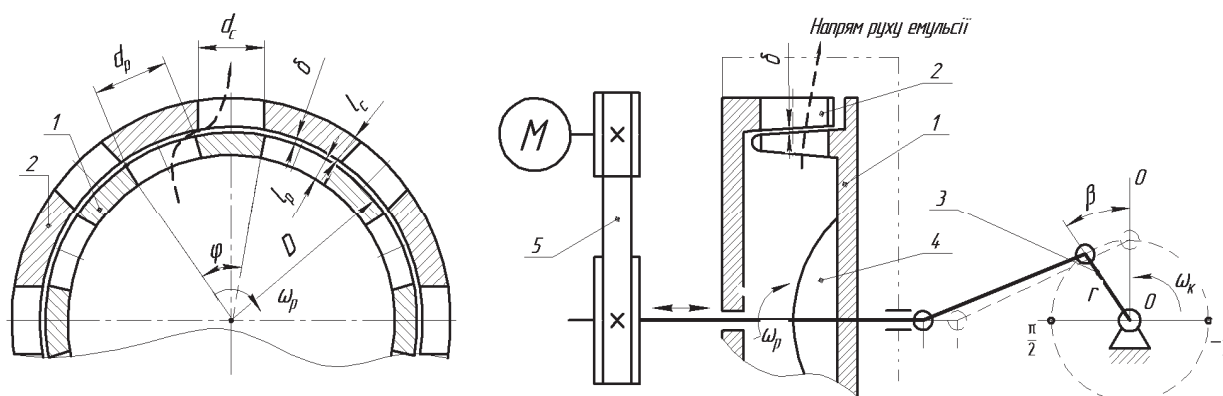
Формулювання мети статті. Одним з важливих завдань при проектуванні ПА з ВР є визначення його продуктивності. На стадії технічного проектування це необхідно для створення апаратів з необхідним

типорозміром характеристик для включення у поточно-технологічні лінії і для можливості оцінки питомих енерговитрат при порівнянні з існуючими гомогенізаторами. Метою даної статті є встановлення залежностей продуктивності ПА з ВР від конструктивних, кінематичних та технологічних параметрів апарату.

Виклад основного матеріалу. ПА з ВР складається з коаксіальних циліндричних ротора і статора з отворами, розмірами d_p і d_c відповідно (рис. 1) [4]. Між циліндрами існує зазор δ , величина якого 0,2-1,0 мм. Довжина ротора l_p , міжциліндровий зазор і канал статора l_c утворюють канал модулятора. Для створення рівних за величиною пульсацій в каналах модулятора, діаметри і кількості z отворів статора і ротора рівні. Для створення коливань вздовж вісі обертання ротора служить кривошипний механізм. Величина коливань (вібрації) – до 3 мм. Ротор з'єднаний з електродвигуном приводу обертання ротора клинопасовою передачею, що припускає відхилення між шківками при роботі на 2-3 мм.

При обертанні ротора його отвори періодично збігаються та перекриваються з отворами статора, змінюючи площу прохідного перерізу модулятора РПА, утворюючи переривник. ПА з ВР має встановлені в центрі радіальні лопатки, тому працює без джерела зовнішнього тиску. При обертанні ротора з лопатками, створюється відцентровий тиск рідини. При періодичній зміні площі переривника, в його каналах відбуваються пульсації тиску та швидкості молока. При вібрації ротора вздовж власної вісі, також утворюються пульсації тиску. Частота обертання ротора узгоджена з частотою обертання валу кривошипу таким чином, що ці пульсації накладаються і підсилюють одне одного.

Під час вже проведених нами аналітичних досліджень здобула підтвердження гіпотеза, що в ПА з ВР руйнування жирових кульок переважним чином відбувається за механізмом нестійкості Релея-Тейлора [5]. Діаметр дисперсійної частки залежить від прискорення молока при його русі крізь канали переривника. Прискорення потоку молока викликає різницю швидкості (ковзання) жирової кульки відносно молочної плазми. Ця швидкість і призводить до руйнування жирової частки.



1 – ротор; 2 – статор; 3 – кривошипний механізм приводу вібрації ротора, 4 – лопатки, 5 – клинопасова передача приводу обертання ротора

Рис. 1 – Розрахункова схема ПА з ВР:

У результаті аналітичних досліджень визначено рівняння зміни площі переривника ПА з ВР, швидкості осьового руху ротора і величин пульсації швидкості від відцентрових сил. Це дало змогу визначити залежність швидкості руху емульсії v_0 через переривник апарату і рівняння зміни площі переривника

$$v_0 = \frac{2 n_k r \cdot D \cos \beta}{\frac{\pi D}{2z} \left(1 + \sin\left(\varphi z - \frac{\pi}{2}\right) \right) + 8\delta} + \frac{\pi^2 n_p D^2}{120z(l_p + \delta + l_c)} \left\{ \frac{\varphi z}{2\pi} \right\}, \quad (1)$$

де β , φ – кут повороту відповідно валу кривошипу та ротора, рад.;

де n_k , n_p - частота обертання кривошипу та ротору відповідно, об/хв;

D – діаметр ротора, м;

r – радіус кривошипу, м;

$\left\{ \frac{\varphi z}{2\pi} \right\}$ – дробова частина числа $\frac{\varphi z}{2\pi}$.

Перша складова цього рівняння визначає швидкість, спричинену осьовими коливаннями ротора v_o^n , а друга – відцентровим тиском при обертанні ротора v_o^B . Площа переривника ПА з ВР визначається як

$$S(\varphi) = \frac{\pi d_p^2 z}{8} \left(1 + \sin\left(\varphi z - \frac{\pi}{2}\right) \right) + \pi d_p \delta z, \quad (2)$$

Миттєву витрату рідини через переривник ПА визначимо з рівняння

$$Q_o(\varphi) = v_o(\varphi) \cdot S(\varphi), \quad (3)$$

Враховуючи (1) і (2)

$$Q_o(\varphi) = \frac{\pi^2 n_k r D^2 \cos \beta}{8} + \left(\frac{\pi D}{2z} \left(1 + \sin\left(\varphi z - \frac{\pi}{2}\right) \right) + 8\delta \right) \frac{\pi^4 n_p D^3}{1920z(l_p + \delta + l_c)} \left\{ \frac{\varphi z}{2\pi} \right\}. \quad (4)$$

При створенні резонансу збільшується амплітуда пульсацій емульсії в переривнику, що підвищує ефективність гомогенізації. Умовою виникнення резонансу є виконання рівності $n_p = n_k / z$ або ($\varphi = \beta / z$) і кут зсуву фаз між обертанням ротора та валу кривошипу $\beta = 3\pi / 2$. З урахуванням цих умов залежність (4) представимо графічно (рис. 2)

Витрати через переривник назовні (додатні значення на графіку) перевищують від'ємні. Сумарні витрати будуть дорівнювати різниці цих витрат.

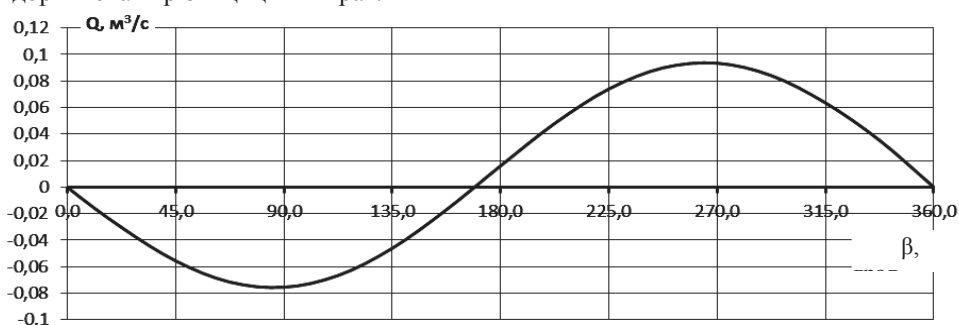


Рис. 2 – Графік миттєвих витрат емульсії в Па з ВР для резонансного режиму роботи

Вираз (3) можна представити у вигляді

$$Q_o(\varphi) = (v_o^n(\varphi) + v_o^B(\varphi)) \cdot S(\varphi), \quad (5)$$

або

$$Q_o(\varphi) = (v_o^n(\varphi) + v_o^B(\varphi)) \cdot S(\varphi) = v_o^n(\varphi) \cdot S(\varphi) + v_o^B(\varphi) \cdot S(\varphi), \quad (6)$$

Сумарна витрата за один оберт ротора

$$Q_o = \int_0^{2\pi} v_o^n(\varphi) \cdot S(\varphi) + \int_0^{2\pi} v_o^B(\varphi) \cdot S(\varphi), \quad (7)$$

Внаслідок гармонійних пульсацій емульсії в отворах переривника ПА з ВР об'єми рідини, що витискаються ротором через отвори переривника за один оберт кривошипу в порожнину ротора та назовні, викликані вібрацією ротора – практично рівні. Тобто сумарна витрата рідини викликана осьовим рухом ротора дорівнює нулю. Тоді

$$Q_o = \int_0^{2\pi} v_o^B(\varphi) \cdot S(\varphi), \quad (8)$$

Обчислення за останньої формулою призводить до громіздких арифметичних виразів, які важко застосовувати на практиці.

В.І. Біглером для визначення витрат РПА застосовувалась формула [6]

$$Q_o = z S_c v_c, \quad (9)$$

де v_c – середнє значення швидкості за час пульсації рідини, викликана обертанням ротора, м/с;

S_c – середня площа перекриття отвору, м².

$$S_c = \frac{\pi d_p^2}{8}, \quad (10)$$

Зважаючи на лінійність зміни швидкості в каналі статора від часу [7]

$$v_c = \frac{v_{\max}}{2}, \quad (11)$$

де v_{\max} – максимальна швидкість v_0^B в кінці циклу закриття отворів переривника (рис.3).

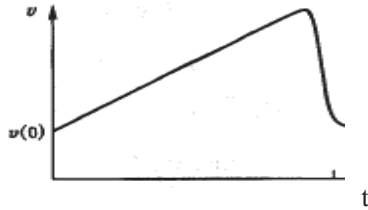


Рис. 3 – Характер залежності швидкості в каналі статора від часу

З (1) визначаємо, що

$$v_{\max} = \frac{\pi^2 n_p D^2}{120z(l_p + \delta + l_c)}. \quad (12)$$

Звідки з урахуванням

$$d_p = \frac{\pi D}{2z}, \quad (13)$$

продуктивність, враховуючи (9-12) буде визначатися як

$$Q_o = \frac{D^4 n_p}{202z^2(l_p + \delta + l_c)}. \quad (14)$$

Або продуктивність ПА з ВР при гомогенізації молока, виражена у кг/год

$$Q_o = \frac{17,8D^4 n_p \rho_m}{z^2(l_p + \delta + l_c)}, \quad (15)$$

де ρ_m – густина молока, кг/м³.

Отже продуктивність ПА з ВР пропорційна D^4 , частоті обертання ротора та зворотно пропорційна z^2 і довжині каналів модулятора (рис. 4). Збільшення діаметру призводить до збільшення величини перепаду тиску (пропорційно D^2) діаметру отворів, тобто збільшення площі переривника і ширини ротора, тому продуктивність ПА з ВР пропорційна D^4 . При збільшенні кількості отворів зменшується ширина ротора та площа перетину переривника.

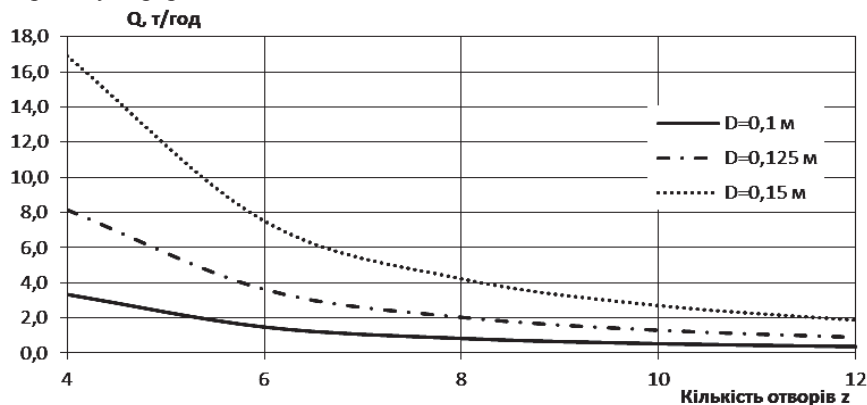


Рис. 4 – Залежність продуктивності ПА з ВР від діаметру ротора та кількості отворів (при $\delta=1$ мм, $l_p=5$ мм, $l_c=10$ мм, $n_p=480$ об/хв)

При виникненні резонансу, збільшується амплітуда пульсацій рідини в переривнику як всередину порожнини ротора так і назовні. Сумарний вплив на продуктивність від таких пульсацій буде рівний нулю (за цикл пульсацій кількість рідини, яка пройшла отвори ротора дорівнює кількості, що повернулася), тому, очікувано, продуктивність, знайдена за останнім виразом, не зміниться.

Для перевірки аналітичних досліджень використовували лабораторну установку ПА з ВР, гомогенізуючий роторно-пульсаційний модуль якої розроблений на базі турбіни ТКР-12 [4]. Установка дає змогу змінювати: частоту обертання і коливань ротора і амплітуду коливань ротора. Дійсну продуктивність ПА з ВР визначали за формулою

$$Q = \frac{m}{\tau}, \quad (16)$$

де m - маса гомогенізованого молока, кг;

τ - час гомогенізації, с.

Тривалість дослідів визначали секундоміром СОПр-2а-2-010 ГОСТ 5072-79 з абсолютною помилкою не більше 0,2 с. Масу молока визначали на вагах електронних SCL-150 ГОСТ 24104-2001 з абсолютною помилкою не більше 5 мг. Енерговитрати на процес гомогенізації визначали за допомогою ватметра McBrain VA 318 ГОСТ 22261-94 з абсолютною похибкою 0,1 В. Частоту коливання вимірювали за допомогою цифрового тахометра УТІ-Т УТ 371 ГОСТ 21399 – 82 з похибкою 0,04%.

Кожен дослід повторювався 3 рази, після чого визначалося середнє арифметичне, здійснювалась перевірка на грубі похибки (методом оцінки максимальних розбіжностей результатів дослідів). Рахували, що теоретична залежність задовільно описує процес, якщо коефіцієнт детермінації є більшим за 0,90.

За результатами теоретичних досліджень радіус кривошипу не впливає на продуктивність ПА з ВР, внаслідок рівності пульсацій рідини всередину ротора та назовні при кожному циклі перекриття отворів переривника.

За результатами експериментальних досліджень при $r=0,5$ мм продуктивність на 3-6% менша за розраховану (рис. 5), а при $r=1,5$ мм – на 2-5% більша.

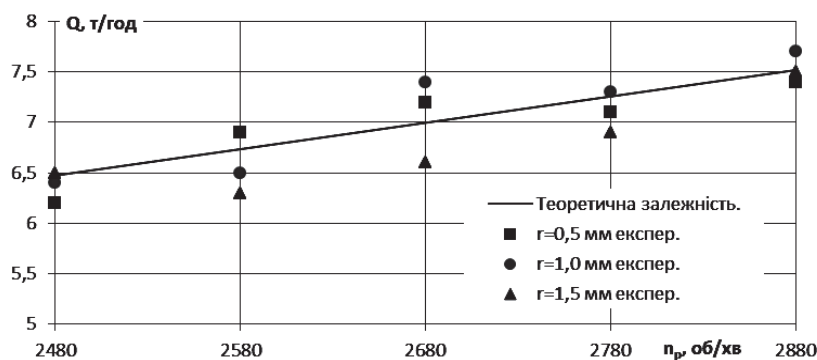


Рис. 5 – Співставлення результатів експериментальних та теоретичних досліджень визначення продуктивності ПА з ВР

Це можна пояснити тим, що при розрахунках неврахована сила Коріоліса. Однак похибка аналітичних залежностей не перевищує 7%, тому достовірність отриманої залежності (15) достатня для інженерних розрахунків ПА з ВР.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Отримані залежності (14) і (15) для визначення продуктивності ПА з ВР містять мінімальну кількість конструктивних і режимних параметрів роторного апарату. Продуктивність ПА з ВР пропорційна D^4 , частоті обертання ротора, зворотно пропорційна z^2 і довжині каналів модулятора і не залежить від амплітуди коливання ротора. Робота в резонансному режимі практично не впливає на продуктивність ПА з ВР.

Пропоновану методику розрахунку енерговитрат рекомендується використовувати на стадії технічного проектування пульсаційного апарату з вібруючим ротором. Це дозволяє визначити питомі енерговитрати ПА з ВР і визначити ефективність його застосування, в порівнянні з іншим устаткуванням, використовуваним для проведення конкретного процесу. Результати досліджень та розрахунки енерговитрат ПА з ВР [8] дозволяють стверджувати, що питомі енерговитрати даного виду обладнання на 16-22% менші за енерговитрати РПА, що свідчить про перспективність подальших досліджень цього типу апаратів.

Література

1. Промтов М. А. Машины і апарати з імпульсними енергетичними діями на оброблювані речовини/ М. А. Промтов. – М.: «Видавництво Машиностроение-1», 2004. – 136 с.
2. Фиалкова Е.А. Гомогенизация. Новый взгляд: Монография–справочник/ Е.А.Фиалкова – Спб.: ГИОРД, 2006. – 392с.

3. Пат. №41129 Україна, B01 F 7/12. Роторно-пульсаційний апарат / А.О., Івженко, О.В. Гвоздев, О.В. Івженко; заявитель и патентообладатель Таврійський державний агротехнологічний університет – № u200812874; заявл. 04.11.2008 ; опубл. 12.05.2009, Бюл. № 9.
4. Самойчук К.О. Експериментальні дослідження диспергування жирової емульсії в пульсаційному апараті з віброуючим ротором/ К.О. Самойчук, А.О. Івженко // Обладнання та технології харчових виробництв : Донецьк – 2013.– Вип. 30. – С. 155-161.
5. Самойчук К.О., Івженко А.О. Механізми диспергування жирової фази в пульсаційному апараті з віброуючим ротором/ К.О. Самойчук, А.О. Івженко // Праці ТДАТУ.: Мелітополь – 2013. – Вип.13, Т.7. – С. 11-20.
6. Биглер В.И. Исследование течений в аппарате типа динамической сирены и его применение для процесса растворения: Автореф. дис... канд. техн. наук. М. – 1979. – 15с.
7. Балабышко А.М. Роторные аппараты с модуляцией потока и их применение в промышленности/ А.М. Балабышко, В.Ф. Юдаев. – М.: Недра, 1992. – 176 с.
8. Самойчук К.О. Розрахунок енерговитрат пульсаційного апарата з віброуючим ротором / К.О. Самойчук, А.О. Івженко //Наукові праці Одеської національної академії харчових виробництв: Одеса. 2013. Вип. 43. Том 2 С. 133-137.

УДК 66.093.48

АДСОРБЦІЯ АЛЬДЕГІДІВ ІЗ ВОДНО-СПИРТОВИХ РОЗЧИНІВ ШУНГІТОМ

**Турчун О.В., аспірантка, Мельник Л.М., д-р техн. наук, професор,
Ткачук Н.А., канд. техн. наук, доцент, Мельник З.П., канд. техн. наук, доцент
Національний університет харчових технологій, м. Київ**

Досліджено адсорбційну спроможність шунгіта щодо альдегідів водно-спиртових розчинів, концентрацією 40 та 50% об. Встановлена раціональна тривалість взаємодії адсорбент:водно-спиртовий розчин при адсорбції ацетальдегіда і кротонового альдегіда. Доведено, що кротоновий альдегід краще адсорбується шунгітом із розчинів, концентрацією 40 % об, ацетальдегід – із 50% об. спиртових розчинів.

The authors studied adsorptive capacity of shungite towards aldehydes of aqueous-alcoholic solutions with concentration of 40 and 50% wt. As the result of their analysis the authors determined rational duration of interaction between adsorbent and aqueous-alcoholic solutions when adsorbing acetaldehyde and crotonic aldehyde. This paper proves that crotonic aldehyde is better adsorbed by shungite from solutions with concentration of 40 % wt, while aldehyde – from alcoholic solutions with concentration of 50% wt.

Ключові слова: адсорбція, альдегіди, сортівка, шунгіт, ацетальдегід.

Для виробництва горілок використовують ректифікований спирт та воду. Якість етилового спирту, з якого готують водно-спиртові розчини, концентрацією 40 % (сортівки), залежить від наявності летких домішок, що залишаються в ньому після ректифікації. Вони складають групу ароматичних компонентів, яка формує смак і аромат спирту, тому їх вміст в готовому продукті регламентується. До регламентованих домішок спирту належать альдегіди [1].

Альдегіди – легко розчинні у воді, їм властиві удушливий запах і велика реакційна спроможність. Альдегіди утворюються різними шляхами: при спиртовому бродінні в результаті окислення спиртів киснем повітря та реакції меланоїдиноутворення, що проходить при тепловому обробленні сировини. В бражній колоні альдегіди накопичуються в зоні 15-17-ї тарілок. В процесі епіюрації спирту альдегіди поводять себе як головна домішка. Помітне збільшення їх вмісту спостерігається тільки на самих верхніх тарілках епіюраційної колоні. Ректифікаційна колона практично вільна від альдегідів [2].

Проте очищення сортівок від альдегідів є обов'язковою технологічною операцією, яку здійснюють у виробничих умовах за допомогою активного вугілля [3]. Його коштовність і відсутність налагодженого виробництва в Україні спонукали до пошуків дешевих та ефективних, екологічно безпечних сорбентів, яким є вуглецевмісний мінерал – шунгіт – єдина відома порода, яка містить фулерени, а також 60-70% вуглецю і 30-40 % золи. Зола складається із оксидів: кремнію, алюмінію, калію, натрію, титана. В наявності є кварц, слюди, хлориди, сульфіти. Шунгіт представляє собою композит, матрицю якого утворює вуглець. У вуглецевій матриці рівномірно розподілені дисперсні силікати із середнім розміром близько 1