

УДК 637.2

№ держреєстрації 0116U002729

Інв. №

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

72312, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр-т. Б. Хмельницького, 18
тел. (0619) 42-13-06

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Проректор з НР д.т.н., проф.


В.Т.Надикто

„25” _____ 2016 р.



ЗВІТ
про науково-дослідну роботу
(проміжний)

Розробка технологій і технічних засобів для переробки і зберігання сільсько-господарської продукції та процесів і обладнання харчових виробництв

Директор НДІ
д.т.н., проф.










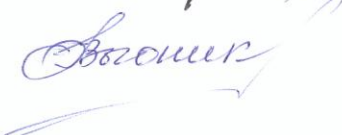

В.Т. Надикто

Керівник НДР
к.т.н., проф.

Ф.Ю. Ялпачик

Мелітополь
2016

Список виконавців

- | | | |
|-----------------------------|--|---------------------------------|
| 1. Зав. каф., к.т.н., проф. |  | Ялпачик Ф.Ю.
(Тема 1.6.3) |
| 2. к.т.н., доц. |  | Олексієнко В.О. |
| 3. асистент | | Червоткіна О.О.
(розділ 1.1) |
| 4. д.т.н., проф. |  | Ялпачик В.Ф. |
| 5. к.т.н., ст. викл. |  | Тарасенко В.Г.
(розділ 2.1) |
| 6. к.т.н., доц. |  | Ломейко О.П. |
| 7. аспірант | | Єфіменко Л.В.
(розділ 2.2) |
| 8. к.т.н., доц. |  | Самойчук К.О. |
| 9. аспірант | | Левченко Л.В.
(розділ 3.1) |
| 10. асистент |  | Ковальов О.О.
(розділ 3.2) |
| 11. асистент |  | Полудненко О.В.
(розділ 3.3) |

ЗМІСТ

Тема 1 Вдосконалення процесів та обладнання для переробки і зберігання зерна, переробки відходів та вторинних продуктів сільськогосподарського виробництва	4
Розділ 1.1 Наукові і практичні основи технології гранулювання відходів сокового виробництва	4
1. Методика досліджень.....	5
2. Визначення коефіцієнта тертя гранульованих відходів сокового виробництва.....	5
3. Обробка, аналіз одержаних результатів	8
Тема 2 Розробка технологій обробки холодом плодів та овочів при зберіганні	12
Розділ 2.1 Обґрунтування теплофізичних властивостей кабачків і гарбузів при підготовці до заморожування	12
1. Методика досліджень.....	13
2. Теоретичне та експериментальне дослідження теплофізичних властивостей кабачків і гарбузів при підготовці до заморожування.....	15
3. Обробка, аналіз одержаних результатів	17
Розділ 2.2 Характеристики плодів при зберіганні з використанням вакуумного охолодження	19
1. Методика досліджень.....	19
2. Дослідження зміни характеристик плодів при зберіганні з використанням вакуумного охолодження	19
3. Обробка, аналіз одержаних результатів	22
Тема 3 Підвищення ефективності процесів та обладнання для диспергування та гомогенізації харчових емульсій і змішування рідких компонентів	24
Розділ 3.1 Оптимізація параметрів процесу гомогенізації молока в пульсаційних апаратах	25
1. Методика досліджень	25
2. Теоретичне та експериментальне дослідження гомогенізації молока в пульсаційному апараті з вібруючим ротором.....	28
3. Обробка, аналіз одержаних результатів.....	32
Розділ 3.2 Підвищення ефективності струминної гомогенізації молока з роздільним подаванням жирової фази	38
1. Методика досліджень.....	39
2. Теоретичне та експериментальне дослідження гомогенізації молока в струминному гомогенізаторі молока з роздільною подачею вершків.....	42
3. Обробка, аналіз одержаних результатів.....	49
Розділ 3.3. Оптимізація параметрів струминного змішування напоїв	53
1. Методика досліджень.....	54
2. Теоретичне та експериментальне дослідження струминного змішування напоїв.....	57
3. Обробка, аналіз одержаних результатів	59

Тема 1 Вдосконалення процесів та обладнання для переробки і зберігання зерна, переробки відходів та вторинних продуктів сільськогосподарського виробництва

Розділ 1.1 Наукові і практичні основи технології гранулювання відходів сокового виробництва

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є: процес гранулювання вичавок сокового виробництва.

Предметом дослідження є: технологічні, конструктивні та кінематичні параметри гранулятора у взаємозв'язку з енергетичними та якісними показниками.

При переробці овочів немінучі відходи у вигляді вичавок. Вони містять цінні поживні речовини: цукру, фарбувальні, білкові та пектинові речовини, органічні кислоти, вітаміни та ін. Одним з найбільш раціональних шляхів використання такої сировини є переробка в напівфабрикати– овочеві гранули, які є мікробіологічно безпечними. Пропонована в даній роботі конструкція гранулятора дозволяє підвищити ефективність переробних підприємств і збільшити

ГРАНУЛЮВАННЯ, ГРАНУЛЯТОР З ПЛОСКОЮ МАТРИЦЕЮ, ГРАНУЛИ, КОЕФІЦІЕНТ ТЕРТЯ

ВСТУП

Особливістю плодоовочевих відходів є те, що вони не спроможні до тривалого зберігання і потребують переробки або консервації. Харчова промисловість, що переробляє в основному сільськогосподарську сировину, одна з найбільш багатовідхідних галузей народного господарства. По масштабах утворення відходів вона поступається лише добувним галузям. Промисловість традиційно орієнтована на витягання з сировини одного основного продукту, при цьому вихід його складає 15...30 % від маси сировини, що переробляється, остання кількість переходить у відходи і побічні продукти. Одна частина вторинних сировинних ресурсів (ВСР) піддається промисловій переробці, інша частина використовується в природному вигляді на кормові цілі в сільськогосподарстві, як паливо, добрива і сировина для переробки в інших галузях.

Програма досліджень на 2016 р.

- 1 Розробка програми та методики досліджень
- 2 Визначення коефіцієнта тертя гранульованих відходів сокового виробництва
- 3 Обробка, аналіз одержаних результатів

1.Методика досліджень

Використання вторинних сировинних ресурсів сокового виробництва, як-то вичавків, пюре-відходів, що не втратили своєї харчової цінності є, безумовно, актуальним і перспективним напрямком у розвитку переробної та харчової промисловості.

Як відомо, останнім часом для реалізації вказаної проблеми широко застосовують процес гранулювання, який складається з ряду послідовних етапів: стиснення, витримки під тиском, зняття тиску, релаксації напружень, витримки без тиску, випресовування і пружного розширення гранули після її вивільнення з камери. Ефективність процесу залежить від ступеню досконалості виконання кожного з названих етапів, однак основне значення має перший етап – операція стиснення порції сировини до потрібної щільності. Таким чином, вивчення чинників, які впливають на хід операції, складає завдання наведених досліджень.

Об'єктом випробувань є гранула з вторинної сировини виробництва морквяного соку

2. Визначення коефіцієнта тертя гранульованих відходів сокового виробництва

Використання вторинних сировинних ресурсів сокового виробництва, як-то вичавків, пюре-відходів, що не втратили своєї харчової цінності є, безумовно, актуальним і перспективним напрямком у розвитку переробної та харчової промисловості.

Як відомо, останнім часом для реалізації вказаної проблеми широко застосовують процес гранулювання, який складається з ряду послідовних етапів: стиснення, витримки під тиском, зняття тиску, релаксації напружень, витримки без тиску, випресовування і пружного розширення гранули після її вивільнення з камери. Ефективність процесу залежить від ступеню досконалості виконання кожного з названих етапів, однак основне значення має перший етап – операція стиснення порції сировини до потрібної щільності. Таким чином, вивчення чинників, які впливають на хід операції, складає завдання наведених досліджень.

На процес стиснення суттєво впливають пружні, в'язкі і фрикційні властивості матеріалу, який піддається гранулюванню. Таким чином, ефективність процесу гранулювання переважно залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу, що пресується. Це, насамперед, модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона, коефіцієнти в'язкості і тертя. Багато дослідників відмічають такі властивості, як порозність, співвідношення компонентів у суміші (тверда речовина, рідина і газова фаза), точка адсорбції води на поверхні часток, критична щільність та ін.

Серед названих фізико-механічних властивостей особливе місце займає коефіцієнт тертя від значення якого залежать не тільки умови і зусилля пресування, а також і спроможність готового гранульованого продукту взаємодіяти з елементами технологічного обладнання, зокрема транспортуючих та

фасувальних машин і механізмів.

Метою представлених результатів досліджень є експериментальне та аналітичне визначення коефіцієнта тертя спокою та тертя руху гранул з відходів (жому), одержаного в результаті виготовлення морквяного соку.

Для дослідження коефіцієнтів тертя спокою на кафедрі „Обладнання переробних і харчових виробництв“ ТДАТУ був розроблений і виготовлений трибометр (рисунок 1) з електричною сигналізацією початку зсуву дослідного зразка, а для досліджень коефіцієнта руху модернізовано відому конструкцію приладу І.В Крагельського (рисунок 2).

На лабораторній установці (рисунок 1) можна визначати коефіцієнт тертя спокою (f_c) як цілих плодів, так і зразків (фрагментів). Для кріплення зразків 12 крихких матеріалів та матеріалів з підвищеною пластичністю передбачалися спеціальні оправки 11.

Для імітування різних матеріалів поверхонь тертя трибометр комплектували знімними пластинами 13 з металу, дерева, гуми.

Об'єкт досліджень навантажували потрібним нормальним зусиллям F_N важками (гирями) 10.

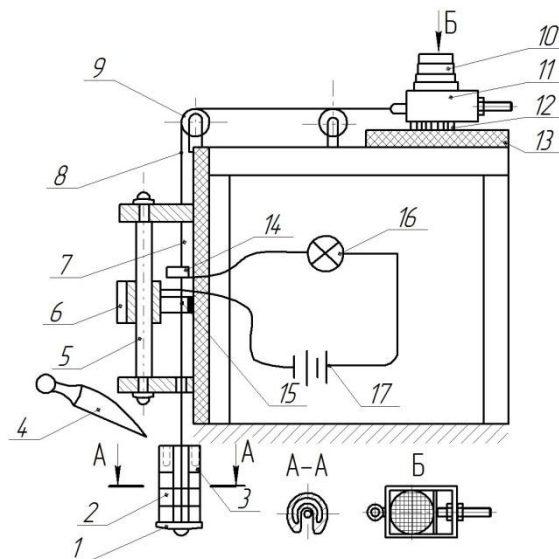


Рисунок 1 – Схема дослідного трибометра

1 - підвіска; 2 - гирі; 3 - короб; 4 - совок; 5 - напрямна; 6 - повзун; 7 - рама; 8 - нитка; 9 - блок; 10 - важки; 11 - оправка; 12 - зразок; 13 - пластина; 14, 15 - контакти; 16 - лампа; 17 - батарея.

Потім об'єкт зсувався силою F_T , яка утворювалась гирями 2 і масою піску, що плавно висипався із совка 4 у короб 3.

Гирі з коробом встановлювали на підвіску 1, яка була з'єднана ниткою 8, перекинутою через блоки 9, з оправкою 11. Як тільки зусилля F_T перевищувало максимальне значення сили тертя починався рух оправки або досліджуваного плоду.

При цьому, закріплений на нитці рухомий контакт 14 опускаючись, то-

ржався контакту 15, встановленого на повзуні 6. Електричний ланцюг з лампою 16 і батареєю 17 замикався.

Положення повзуна з контактом 15 на напрямній 5 фіксувалося силами тертя, яка утворювалася діями сил пружності пластинчастої пружини. Перед початком досліду зазор між контактами становив 2...3 мм.

Зусилля F_T визначалося як сума сил ваги гир, підвіски і короба з піском. Зважування здійснювали вагами ВЕЛ-200.

Коефіцієнт тертя визначали із залежності:

$$f = F_T / F_N . \quad (1)$$

Плавне збільшення зусилля на дослідний зразок завдяки повільному поданню піску до короба і точному визначенню початку руху об'єкта за допомогою світлового сигналу забезпечили високу точність визначення зусилля F_T , про що говорить незначне розсіювання значень результатів повторюваних дослідів.

Для підвищення стабільності показань і спрощення керування приладом І.В. Крагельського, на якому проводили визначення коефіцієнта тертя руху, клинопасовий варіатор приладу був замінений відповідною клинопасовою передачею з постійним передаточним числом.

Плавне ж регулювання частоти обертання диска здійснюється за рахунок застосування електродвигуна постійного струму, підключеного за реостатною схемою через випрямляч до звичайної однофазної електричної мережі. Регулювання частоти обертання диска у широких межах (від 200 до 1800 об/хв.) досягається шляхом змінення напруги в обмотці якоря двигуна.

Схема приладу показана на рисунку 2.

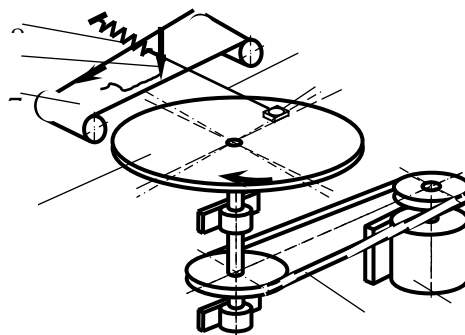


Рисунок 2 – Прилад для дослідження коефіцієнта тертя руху

1 - об'єкт випробувань; 2 - диск; 3 - клинопасова передача; 4 - електродвигун постійного струму; 5 - нитка; 6 - перо самописця; 7 - вимірювальна пружина; 8 - стрічка самописця; 9 - привод самописця

Об'єкт випробування (гранула, закріплена в спеціальній оправці) 1 укладається на поверхню диска 2, який обертається навколо вертикальної площини через клинопасову передачу 3 від електродвигуна постійного струму 4.

Об'єкт за допомогою нитки 5 з'єднаний з пером самописця 6, яке переміщається по стрічці 7 на відстань, обумовлену деформацією тарованої виміральної пружини 8. Як і у попередній серії дослідів, навантаження зразка проводили за допомогою гир, які встановлювали на зразок, закріплений в оправці.

Диск приладу має пристрої для швидкої заміни і кріплення його покриття, що імітує різні види поверхонь тертя, зокрема дерево, метал (сталь) і гума.

Запис зусилля тертя проводиться на стрічку з міліметрового паперу шириною 50 мм. Привод самописця теж має безступінчасте регулювання переміщення стрічки. Це дає можливість узгодження швидкостей диска і паперу, а також одержання достовірної інформації про динаміку змінення зусилля тертя.

3. Обробка, аналіз одержаних результатів

Досліди з визначення коефіцієнта тертя проводили з п'ятикратною повторністю, розсіювання результатів складало не більш 4...8%.

На рисунку 3 наведені графіки, побудовані за результатами визначення коефіцієнта тертя спокою.

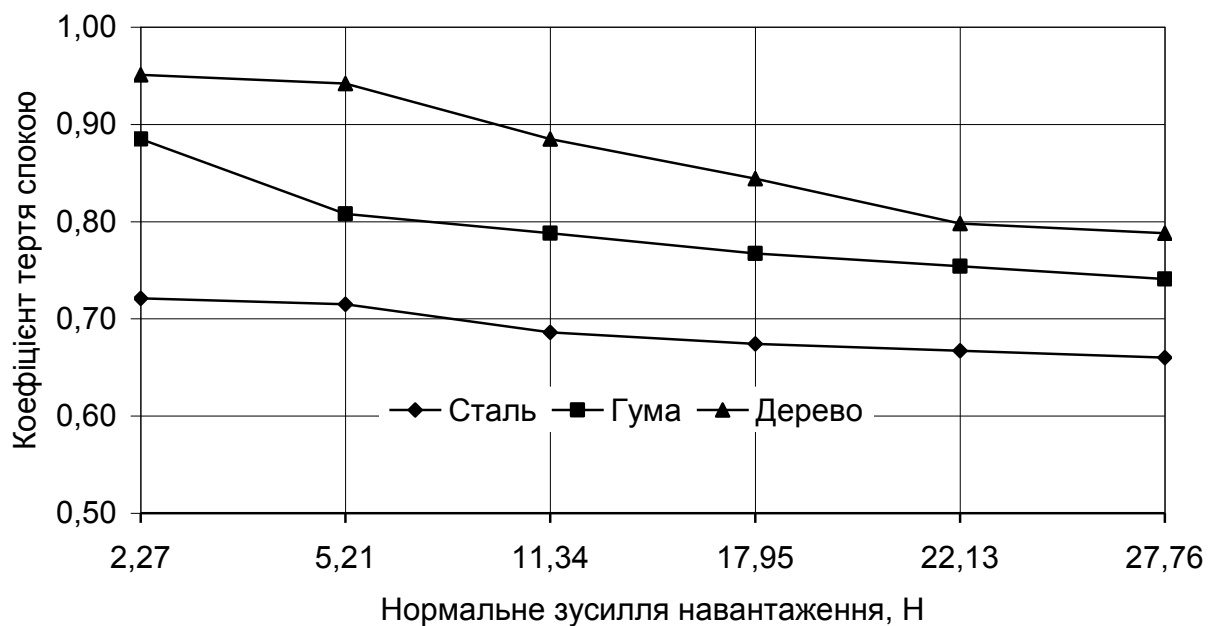


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнта тертя спокою дослідної гранули жому моркви від нормального зусилля

Змінення коефіцієнтів тертя спокою зумовлені характером проведення дослідів можна пояснити впливом різної шорсткості поверхонь пластин трибометра та податливістю поверхні контакту, зміненнями адгезійних сил – сил молекулярного зчеплення. Вплив останніх визначається залежністю коефіцієнта тертя спокою (f_c) від величини нормального тиску. Збільшення нормальної сили тиску супроводжується тенденцією зниження коефіцієнту тертя (рисунок 3), що можна пояснити аналізом двочленного закону тертя Кулона.

$$F_T = F_A + F_N \cdot \mu = F_N \left(\frac{F_A}{F_N} + \mu \right) = F_N \cdot f. \quad (2)$$

де F_A - сумарна сила молекулярного зчеплення;
 μ - коефіцієнт тертя за законом Кулона;
 f - коефіцієнт тертя за законом Амонтона.

Таким чином збільшення нормальної сили приводить до зниження питомого зусилля F_A/F_N

Коефіцієнт тертя руху f_p визначали за формулою Амонтона при тих же значеннях нормальної сили, що й для визначення коефіцієнту тертя спокою. Досліди проводились для широкого діапазону колових швидкостей руху дослідної гранули жому моркви від 2,5 м/с до 22,5 м/с. Результати дослідів показані на діаграмах рисунку 4.

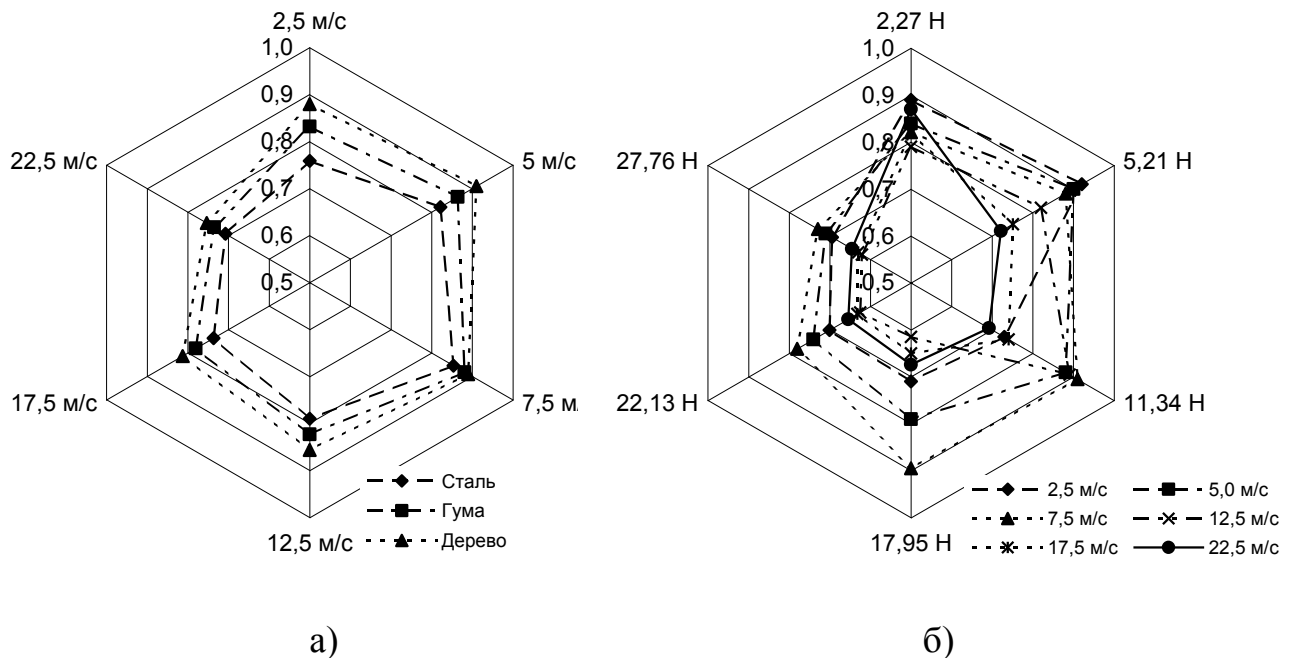


Рисунок 4 – Залежності коефіцієнту тертя руху дослідної гранули жому моркви від: а) швидкості руху і б) нормального зусилля навантаження

Як видно з графіків, мінімальні значення коефіцієнта одержані при терті по сталі максимальні – по дереву. Як і значення коефіцієнту тертя спокою, зі збільшенням нормального зусилля тиску коефіцієнт тертя руху зменшується. З аналізу графіка б) видно, що зі збільшенням швидкості руху коефіцієнт тертя також дещо зменшується. Це явище можна пояснити зниженням питомого зусилля F_A/F_N та деяким зміненням характеру поверхонь контакту гранули і поверхні руху при підвищенні швидкості. Змінення коефіцієнта тертя руху f_p від змінень нормального тиску F_N та швидкості ковзання не набули стабільного характеру.

Для аналітичного визначення коефіцієнта тертя руху застосували емпіричну залежність коефіцієнта тертя від швидкості відносно руху поверхонь,

що труться [5]:

$$f_v = f_o + f_1 v + f_2 v^2 + f_3 v^3, \quad (3)$$

де f_o - коефіцієнт тертя при $v = 0$; f_1, f_2, f_3 - експериментальні коефіцієнти, які можуть як позитивними, так і від'ємними.

Склавши для даних трьох швидкостей v_1, v_2, v_3 систему з трьох рівнянь (3) і, розв'язавши їх, знайдемо що:

$$f_1 = \frac{(f_{v1} - f_o)(v_2^2 v_3^3 - v_3^2 v_2^3) + (f_{v2} - f_o)(v_3^2 v_1^3 - v_1^2 v_3^3) + (f_{v3} - f_o)(v_1^2 v_2^3 - v_2^2 v_1^3)}{v_1(v_2^2 v_3^3 - v_3^2 v_2^3) + v_2(v_3^2 v_1^3 - v_1^2 v_3^3) + v_3(v_1^2 v_2^3 - v_2^2 v_1^3)}, \quad (4)$$

$$f_2 = \frac{(f_{v2} - f_o)(v_1^2 v_3^3 - v_3^3 v_1^2) + (f_{v1} - f_o)(v_2^3 v_3 - v_2 v_3^3) + (f_{v3} - f_o)(v_1^3 v_2 - v_1 v_2^3)}{v_1(v_2^2 v_3^3 - v_3^2 v_2^3) + v_2(v_3^2 v_1^3 - v_1^2 v_3^3) + v_3(v_1^2 v_2^3 - v_2^2 v_1^3)}, \quad (5)$$

$$f_3 = \frac{(f_{v3} - f_o)(v_1 v_2^2 - v_2 v_1^2) + (f_{v2} - f_o)(v_1^2 v_3 - v_1 v_3^2) + (f_{v1} - f_o)(v_2 v_3^2 - v_3 v_2^2)}{v_1(v_2^2 v_3^3 - v_3^2 v_2^3) + v_2(v_3^2 v_1^3 - v_1^2 v_3^3) + v_3(v_1^2 v_2^3 - v_2^2 v_1^3)}. \quad (6)$$

Числові значення f_1, f_2, f_3 , обчислені за залежностями (4), (5), (6) і експериментальними значеннями f_{vi} при швидкостях v_1, v_2, v_3 , наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Експериментальні і розрахункові значення коефіцієнтів тертя руху гранульованої моркви по гумі при різних швидкостях ковзання і різних нормальних навантаженнях

f_N , Н	Експериментальні значення				Розрахункові значення			Значення f_{v4} при $v_4 = 7,5$ м/с			Значення f_{v5} при $v_5 = 17,5$ м/с		
	f_o	Значення f_i при швидкості			f_1	f_2	f_3	Експеримент	Розрахунок	Похибка, %	Експеримент	Розрахунок	Похибка, %
		2,5 м/с	12,5 м/с	22,5 м/с									
2,27	0,885	0,89	0,79	0,871	0,00006	0,0017	-0,0013	0,821	0,795	-14,7	0,820	0,811	1,1
5,21	0,808	0,92	0,82	0,721	0,00058	-0,0078	0,0038	0,88	0,875	0,5	0,750	0,762	1,57
11,34	0,788	0,73	0,89	0,692	-0,0003	0,0068	-0,0036	0,91	0,879	1,7	0,741	0,715	3,4
17,95	0,767	0,71	0,615	0,674	-0,00022	0,0013	-0,0012	0,895	0,783	14,3	0,652	0,618	3,5
22,13	0,754	0,70	0,625	0,654	-0,00022	0,0016	-0,0007	0,78	0,768	1,5	0,632	0,60	5,3
27,76	0,741	0,694	0,621	0,645	-0,00019	0,0012	0,0005	0,729	0,720	1,2	0,630	0,602	4,6

Наведені значення f_{vi} при швидкостях v_4 і v_5 , обчисленими за залежністю (3), а також знайдені експериментальним шляхом. Розрахункові значення задовільно збігаються з експериментальними.

Зазначені вище змінення коефіцієнтів тертя руху можна пояснити сукупним впливом вказаних раніше факторів (шорсткість поверхонь, піддатливість зразка, його деформація, сили молекулярного зчеплення, тощо), також додаткових факторів, як-то вплив продуктів зносу, вологості та ін.

Висновок. Наведені вище результати досліджень коефіцієнтів тертя дослідної гранули з жому моркви можна використовувати для розрахунку і проектування прес-грануляторів, транспортуючих машин та іншого технологічного обладнання.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Червоткіна А. А., Алексеєнко В. А., Фучаджі Н. А. Рациональное использование отходов производства морковного сока // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2012. Вип. 12. – Т. 4. – С. 216 – 221.

2. Червоткіна А. А., Алексеєнко В. А., Фучаджі Н. А. Обоснование параметров рабочего органа гранулятора для получения гранул на основе овощного сырья // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2013. Вип. 7. – Т. 13. – С. 57 – 62.

3. Алексеєнко В. А., Червоткіна А. А. Обоснование производительности и конструктивных параметров пресс-гранулятора // Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету, 2016. С. 83–86

4. Ялпачик Ф. Ю., Вершков О. О., Олексієнко В. О., Червоткіна О. О. Аналіз конструкції прес-грануляторів із плоскою матрицею для переробки овочевих відходів // Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельно-їндустрії в умовах сучасності : тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф. ТДАТУ. – Мелітополь, 2015 С. 117 – 118.

Тема 2 Розробка технологій обробки холодом плодів та овочів при зберіганні

Розділ 2.1 Характеристики плодів при зберіганні з використанням вакуумного охолодження

Програма досліджень на 2016 р.

1. Розробка програми та методики досліджень
2. Виробничі випробування вакуумного способу охолодження плодів черешні та тимчасового їх зберігання.
3. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту

1. Методика досліджень

Дослідження проводились у 2016 році на кафедрі технології переробки та зберігання продукції сільського господарства Таврійського Державного Агротехнологічного Університету у місті Мелітополі.

В результаті теоретичних досліджень за комплексом господарсько-біологічних показників були відібрані наступні районовані сорти черешні пізнього строку досягання: Мелітопольська Крупноплідна, Мелітопольська Чорна, Удивительная, що внесені в реєстр сортів України.[8]

Товарну обробку проводили виділяючи цілі, міцні, чисті не уражені плоди 1 товарного сорту, згідно з вимогами ГСТУ 01.1-37-162:2004, та видаляючи нестандартні екземпляри.[5] Свіжозібрані плоди черешні доставлялися до експериментальної лабораторії кожного ранку. Температура плодів черешні протягом цього часу складала 25°C. Зважування плодів перед та після процесу охолодження проводилося за допомогою електронних ваг з точністю $\pm 0,01$ г.

Охолодження плодів черешні проводилося у розробленій установці для вакуумного охолодження рослинної сировини. В даному науководослідному експерименті з метою порівняння втрати маси та часу охолодження плодів черешні було застосоване три різних значення вакуумного тиску: 29 кПа, 44 кПа, 59 кПа. Температуру плодів черешні повинно бути знижено з 25°C (температура навколишнього середовища) до 2°C(температура зберігання). Маса плодів черешні, які завантажувалися до вакуумної камери, складала 0,6 кг (по 0,2 кг кожного сорту). Холодильне зберігання було проведене у холодильній камері при температурі 2°C.

2. Дослідження зміни характеристик плодів при зберіганні з використанням вакуумного охолодження.

Як можна побачити з наведених графіків, час охолодження плодів черешні до необхідної температури зберігання становить 40, 45 та 50 хв відповідно до значення тиску 29, 44 та 59 кПа. Тобто, при значенні вакуумного тиску 29 кПа, швидкість охолодження найменша. Крім того розподіл температури протягом вакуумного охолодження є однорідним, тобто температура на поверхні та всередині плодів черешні знижується рівномірно. З метою порівняння процесу вакуумного охолодження зі звичайним холодильним

охолодженням плоди черешні було закладено до холодильної камери з температурою 2°C.

Результати показали, що температура поверхні знижується значно швидше, ніж температура всередині продукту. Загальний час охолодження поверхні складає 80 хв, середині продукту - 198 хв. Тобто, час охолодження плодів черешні при холодильному охолодженні значно більший, ніж при вакуумному охолодженні. Крім того, температура поверхні і центру плодів знижується нерівномірно. Під час процесу вакуумного охолодження відбувається втрата маси, тому що ефект охолодження безпосередньо залежить від кількості вологи, яка випаровується зсередини продукту. [4]

З метою зменшення втрати маси плодів черешні через випаровування води зсередини продукту протягом процесу вакуумного охолодження до вакуумної камери було внесено пластикові лотки з водою. Для порівняння значення втрати маси було проведено вакуумне охолодження плодів черешні як із внесенням вологи, так і без нього.

Результати дослідження показано у таблиці 1. Як можна побачити з таблиці, відсотковий процент втрати маси плодів черешні при вакуумному охолодженні без внесення вологи досить високий. Він складає 1,84%, 1,91% та 1,94% для тисків 29 кПа, 44кПа та 59 кПа відповідно. Але ми також бачимо, що внесення води дозволило значно зменшити втрату маси до 0,88%, 0,93% та 0,96% відповідно для тисків 29 кПа, 44кПа та 59 кПа. Тобто, внесення води у лотках дозволяє зменшити втрату маси плодів черешні в процесі вакуумного охолодження на 47,83%, 51,83% та 49,48% для тисків 29 кПа, 44 кПа та 59 кПа відповідно.

Таблиця 1

Втрата маси плодів черешні протягом процесу вакуумного охолодження при трьох різних тисках

Вакуумний тиск, кПа	29	44	59
Початкова маса, г	200	200	200
Кінцева маса, г (без внесення води)	196,32	196,18	196,12
Втрата маси, % (без внесення води)	1,84	1,91	1,94
Кінцева маса, г (з внесенням води)	198,24	198,14	198,08
Втрата маси, % (з внесенням води)	0,88	0,93	0,96
Час охолодження, с	2400	2700	3000
Кінцева температура охолодження, °С	2	2	2

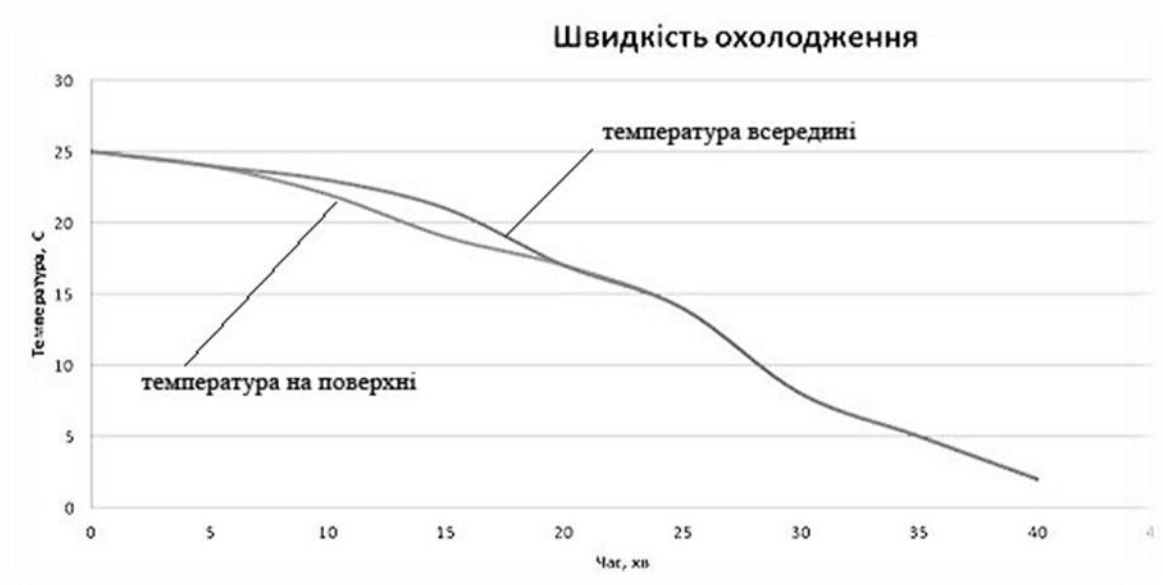


Рис.1 Швидкість охолодження на поверхні і в середині плодів черешні методом вакуумного охолодження при тиску 29 кПа

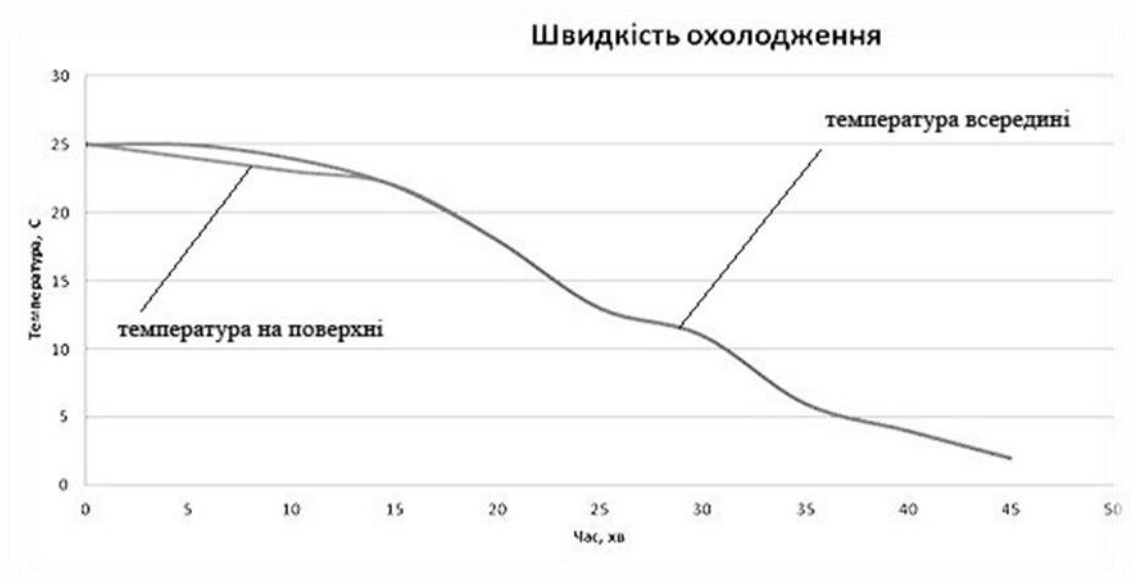


Рис. 2 Швидкість охолодження на поверхні і в середині плодів черешні методом вакуумного охолодження при тиску 44 кПа

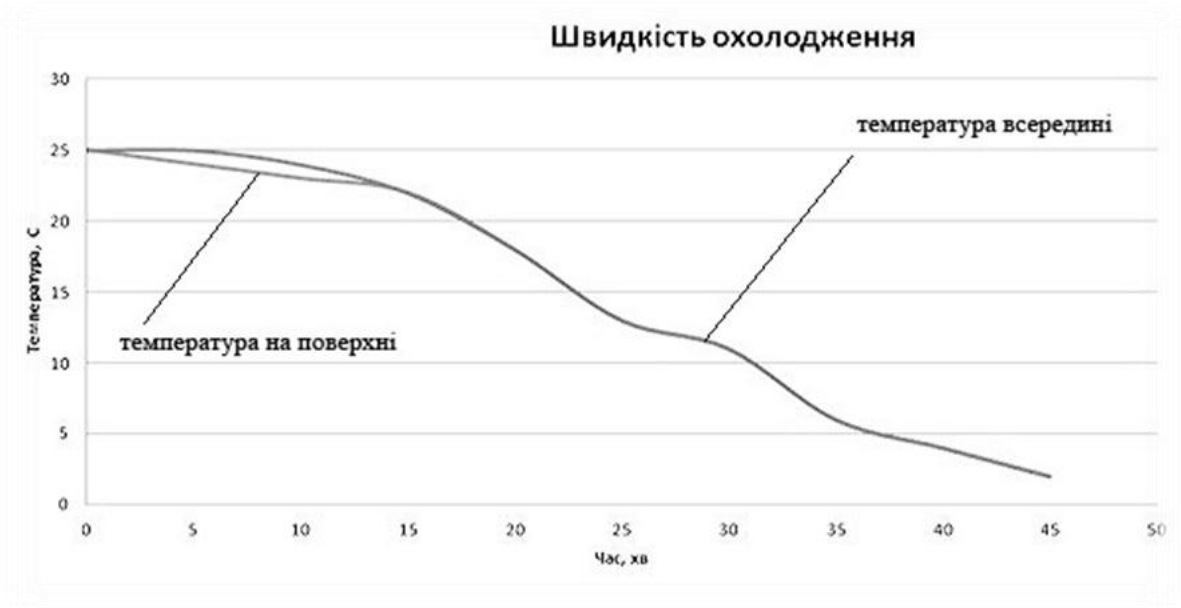


Рис. 3 Швидкість охолодження на поверхні і всередині плодів черешні методом вакуумного охолодження при тиску 59 кПа

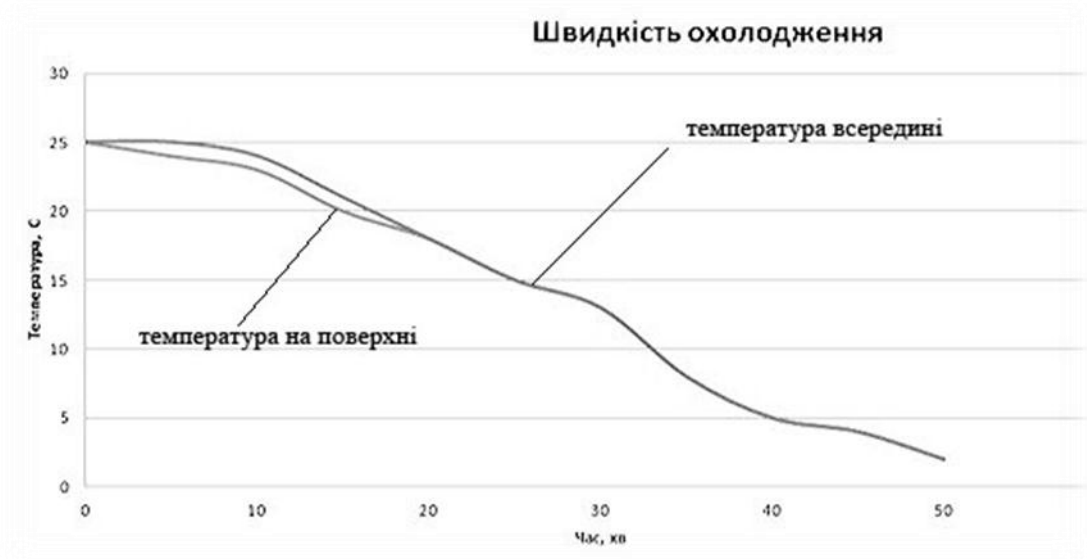


Рис.4 Швидкість охолодження на поверхні і в середині плодів черешні при холодильному охолодженні.

ВИСНОВКИ

В даному дослідженні для охолодження плодів черешні були застосовані два методи: вакуумне охолодження та звичайне холодильне охолодження. Результати показали, що вакуумне охолодження є швидким та ефективним методом у порівнянні зі звичайним холодильним охолодженням. Протягом наукового експерименту були протестовані три різних режими вакуумного охолодження для плодів черешні при значеннях вакуумного тиску 29 кПа, 44

кПа, 59 кПа. Результати показали, що значення температури протягом її зниження як на поверхні, так і в середині плодів черешні дуже схожі, тобто охолодження продукту проходить рівномірно. Режим вакуумного охолодження при тиску 29 кПа дозволяє охолодити плоди черешні з 25°C до 2°C за 40 хв, що швидше, ніж при тиску 44 кПа (45хв) та 59 кПа (50 хв). Втрати маси при вакуумному охолодженні плодів черешні уникнути неможливо через сутність процесу вакуумного охолодження, але її можна значно знизити внесенням води у вакуумну камеру. Відсоткова втрата маси плодів черешні при внесенні води в лотках до вакуумної камери складає 0,88%, 0,93% та 0,96% відповідно для тисків 29 кПа, 44 кПа та 59 кПа відповідно. Тобто, режим вакуумного охолодження при значенні тиску 29 кПа є найоптимальнішим для охолодження плодів черешні. Значення процентного виходу продукту, втрати маси та часу охолодження було значно поліпшено за рахунок регулювання вакуумного тиску. Це дослідження підтвердило, що вакуумне охолодження є ефективним методом та підходить для охолодження плодів такої культури, як черешня.

Література

1. Brosnan, T., & Sun, D.W. Precooling techniques and applications for horticultural products. A review - International Journal of Refrigeration. - 2001. – P. 154-170.
2. Cheng Q., Sun, D.W. Factors affecting the water holding capacity of red meat products. A review of recent research advances. Critical reviews in food science and nutrition, 2008. – P. 137 – 159.
3. Jin T. Experimental investigation of the temperature variation in the vacuum chamber during vacuum cooling. - Journal of food engineering, 2007. - P. 333-339.
4. McDonald K., & Sun D.W. Vacuum cooling technology for the food processing industry: a review. Journal of food engineering, 2000. – P. 55 -65.
5. Медико-биологические требования и санитарные нормы качества продовольственного сырья и пищевых продуктов (Медико-біологічні вимоги і санітарні норми якості продовольчої сировини та харчових продуктів), затверджені Міністерством охорони здоров'я 01.08.89, № 5061 і доповнення від 19.08.91, № 12212/805.
6. Справочник. Химический состав пищевых продуктов. Книга 1, 2-е изд.— М.: ВО «Агропромиздат» 1987. — 224 с.
7. Sun D.W.,& Brosnan T. Extension of the vase life of cut daffodil flowers by rapid vacuum cooling. - International Journal of Refrigeration. – 1999. – P. 472 - 478.
8. Туровцев М.І., Туровцева В.О. Районовані сорти плодових і ягідних культур селекції інституту зрошеного садівництва. Довідник – Київ: Аграрна наука, 2002. – 218с.

Розділ 2.2 Обґрунтування теплофізичних властивостей кабачків і гарбузів при підготовці до заморожування

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є процес підготовки до довготривалого зберігання кабачків і гарбузів.

Предмет дослідження - технологічні, конструктивні параметри обладнання для заморожування та закономірності зміни біохімічних, теплофізичних і фізико-механічних параметрів кабачків і гарбузів за час зберігання.

Методи досліджень - фізико-математичне моделювання теплофізичних властивостей овочевої сировини; експериментальні методи аналізу фізико-механічних, біохімічних та мікробіологічних змін в овочевій сировині; методи статистичного аналізу експериментальних даних; методи обчислювальної математики, методи техніко-економічного аналізу ефективності промислових технологій. Для аналітичного дослідження використовувались програми: Excel, MathCad, Statistika.

Розроблено математичну модель процесу заморожування кабачків і гарбузів. Досліджено технологічний процес заморожування плодів кабачків і гарбузів.

ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ, ПІДМОРОЖЕНИЙ ШАР

ВСТУП

В останній час в економічно розвинених країнах швидке заморожування широко використовується завдяки тому, що забезпечує довготривале зберігання заморожених продуктів. Світовий досвід зберігання овочевої продукції у замороженому стані є перспективним напрямком холодильної технології, який сприяє зростанню виробництва замороженої продукції та її споживанню в несезонний період.

Консервування, як традиційний спосіб зберігання, призводить до втрат близько 50 % вітаміну С при термічній обробці та потребує істотних витрат матеріалів, є ресурсоємним і екологічно не вигідним. Швидке заморожування кабачків і гарбузів, які є одними з розповсюджених культур на території України - ефективний сучасний спосіб зберігання, який дає змогу максимально зберегти їх початкову якість та високі властивості і поживні речовини. Збільшення обсягів виробництва заморожених овочів є одним з найважливіших завдань забезпечення продовольчої безпеки країни.

Програма досліджень на 2016 р.

1. Розробка програми та методики досліджень
2. Теоретичне та експериментальне дослідження теплофізичних властивостей кабачків і гарбузів при підготовці до заморожування
3. Обробка, аналіз одержаних результатів

1. Методика досліджень

Дослідження проводилися в 2016 році на базі кафедри ОПХВ Таврійського державного агротехнологічного університету.

Для досліджень були взяті три сорти кабачків, районуваних на півдні України, а також перспективних, внесених до Державного Реєстру рослин, в основному, ранньостиглі, світло-зеленого (Грибовський), зеленого (Скворушка) і жовтого (Золотінка) забарвлення та один сорт гарбуза Мускатний.

Для експериментальних досліджень проводився відбір середньої проби плодів в технічній стадії стиглості з типовими для кожного сорту розмірами, забарвленням згідно ДСТУ 318-91 „Кабачки свіжі. Технічні умови”, гарбуз – згідно ДСТУ 3190-95 „Гарбуз продовольчий свіжий. Технічні умови”. Середня проба відбиралася в кількостях, достатніх для п'ятикратного проведення досліджень оцінки якості.

Технологічна схема підготовки сировини включала наступні етапи: збирання, інспекцію - видалення сторонніх домішок, екземплярів з механічними та іншими пошкодженнями, а також перезрілих; миття чистою проточною водою до повного видалення забруднення, сушіння потоком повітря, створюваним вентилятором.

Заморожування овочів проводили повітряним і криогенним способами. Для повітряного заморожування застосовувалася стаціонарна промислова холодильна камера. Для криогенного заморожування об'єктів досліджень використовувався рідкий азот і його пари. У дослідженнях використовувалися повірені прилади.

Процес заморожування вважався завершеним, коли температура в центрі фрагментів сягала мінус $20 \pm 1^\circ\text{C}$. У такому вигляді продукція зберігалася в холодильній камері з температурою мінус $20 \pm 1^\circ\text{C}$ і відотною вологістю повітря 90 %.

Для визначення коефіцієнта теплопровідності кабачків і гарбузів при негативних температурах використаний експрес-метод. Для цього використовувався пристрій для експрес-оцінки якості замороженої плодової та овочевої продукції.

На рис. 1 зображена схема пристрою експрес-оцінки якості замороженої плодової та овочевої продукції; на рис. 2 зображена схема вимірювального осередку, корпус якого виконує функцію зовнішнього електрода.

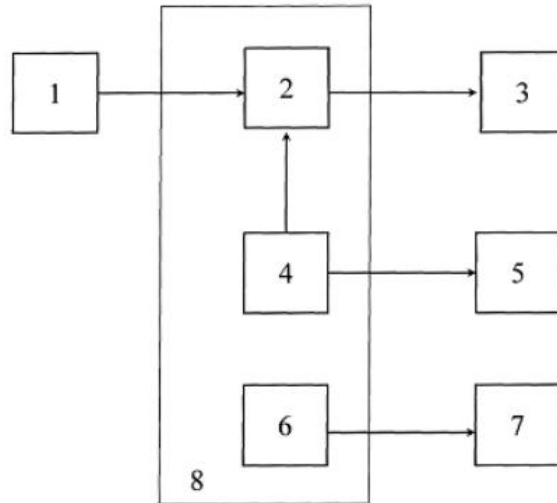


Рис. 1 - Пристрій експрес-оцінки якості замороженої плодової та овочевої продукції:

1 – генератор; 2 – мост опору; 3 – мілівольтметр; 4 – вимірювальний осередок; 5 – омметр; 6 – датчик температури; 7 – дисплей; 8 – термостат.

Пристрій експрес-оцінки якості замороженої плодової та овочевої продукції складається з генератора 1, моста опору 2, мілівольтметра 3, вимірювального осередку 4, омметра 5, датчика температури 6, дисплея 7 та термостата 8. Генератор 1 з'єднано електричними дротами з мостом опору 2, до якого під'єднані електричними дротами електричні контакти вимірювального осередку 4, який розташований разом з мостом 2 та датчиком температури 6 у термостаті 8.

До електричних контактів вимірювального осередку 4 електричними дротами під'єднано також омметр 5. Вихідний сигнал надходить на мілівольтметр 3, під'єднаний електричними дротами до моста опору 2, а датчик температури 6, що знаходиться в термостаті 8, під'єднаний електричними дротами до дисплея 7.

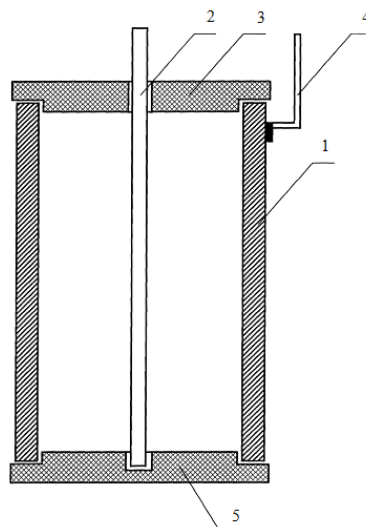


Рис. 2 – Вимірювальний осередок пристрою для експрес-оцінки якості замороженої плодової та овочевої продукції: 1 – корпус; 2 – центральний

електрод з електричним контактом; 3 – верхня кришка з діелектричного матеріалу з центруючим отвором; 4 – електричний контакт від зовнішнього електроду; 5 – нижня кришка з діелектричного матеріалу з центруючою втулкою.

Принцип дії пристрою описується наступним чином: вимірювальний осередок, в корпус якого встановлені зразки кабачків і гарбузів, центральний електрод та який закрито верхньою кришкою з діелектричного матеріалу з центруючим отвором, та нижньою кришкою з діелектричного матеріалу з центруючою втулкою, опускають в термостат, де встановлено датчик температури, виходи якого виведено на дисплей. Включають генератор, і після встановлення постійного значення температури, виконують вимірювання, знімаючи показання мілівольтметра та омметра.

Після заповнення вимірювального осередку зі зразком продукту, через нього проходить електричний імпульс від генератора через електричний контакт від зовнішнього електроду і центральний електрод з електричним контактом, причому електричний імпульс проходить також через міст опору і фіксується мілівольтметром. Температура вимірювального осередку та зразка підтримується постійною за допомогою термостата, а опір вимірювального осередку визначається за допомогою омметра.

Дослідження проводилося шляхом вимірювання температур в продукті в певні моменти часу та перерахунку інтеграла Гауса з використанням таблиць.

2. Теоретичне та експериментальне дослідження теплофізичних властивостей кабачків і гарбузів при підготовці до заморожування

Плодоовочеву продукцію можна розглядати як капілярно-пористу структуру, теплофізичні характеристики якої через складність залежать від вологості, щільності, температури, хіміко-мінерального (грунтового) походження.

Для таких овочів, як кабачки, фрагменти яких нарізані циліндрами, можна скористатися теорією поширення теплоти поперек нескінченного циліндричного стрижня постійного перетину, для фрагменту (кубіка) гарбуза – нескінченної однорідної пластини.

Джерелом теплоти можна вважати сам матеріал плода, нагрітий до кімнатної температури (в літній час 29 ... 32 ° С). Умовно джерело теплоти концентрується уздовж осі плода. Перейшовши до абсолютної температури, отримаємо спрощене диференціальне рівняння теплопровідності:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) \quad (1)$$

де T - температура, К;

x - відстань від центру плоду, м.

Рішенням цього рівняння є такий вираз:

$$T(x, \tau) = T_0 \left[1 - \Phi \left(\frac{x \sqrt{\rho c}}{z \sqrt{\lambda \tau}} \right) \right] \quad (2)$$

де $T(x, \tau)$ - температура у момент часу τ на відстані x від осі, К;

T_0 - початкова температура плоду, К;

Φ - інтеграл ймовірності Гауса;

Дослідження проводилося шляхом вимірювання температур в продукті в певні моменти часу та перерахунку інтеграла Гауса з використанням таблиць [4].

Згідно зі значеннями температур, визначених при пошарових вимірах, величину коефіцієнта теплопровідності визначали, використовуючи рівняння

$$\lambda = \frac{\chi^2 \cdot \rho \cdot c}{4 \cdot \tau \cdot Y^2} \quad (3)$$

де λ - коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К);

χ - відстань від центру плода, м;

ρ - густина плоду, кг/м³;

c - теплоємність плоду, Дж/(кг·К);

τ - час, с;

Y - функція нормального розподілу, згідно зі значеннями інтегралу Гаусса [4].

Узагальнені результати експериментів представлені в таблиці 1.

Таблиця 1- Коефіцієнт теплопровідності кабачків і гарбузів

Коефіцієнт теплопровідності, λ , Вт/(м·К)	Температура, °С					
	0	-5	-10	-15	-20	-25
Кабачки	0,2	1,21	1,36	1,45	1,52	1,57
Гарбуз	0,2	1,18	1,41	1,55	1,63	1,65

При температурі нижче 0 °С відбувається різке зростання коефіцієнта теплопровідності, що обумовлюється фазовим переходом води в лід. Оскільки теплопровідність льоду приблизно в 4 рази більше теплопровідності води [5], то при заморожуванні з пониженням температури λ зростає у відповідності з закономірностями зміни кількості вимороженої води в залежності від температури. Графічно це показано на рис.3.

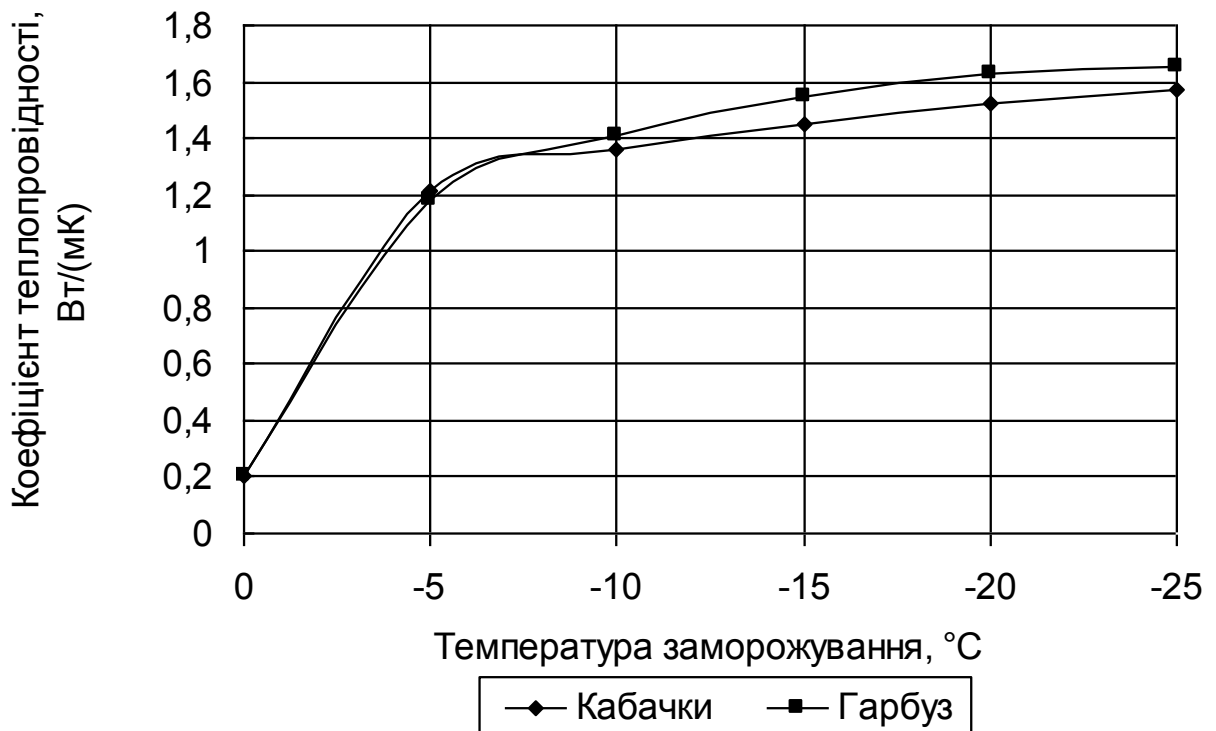


Рис. 3. Залежність коефіцієнта теплопровідності кабачків і гарбузів від температури заморожування

3. Обробка, аналіз одержаних результатів

Аналіз результатів експериментів по визначенню коефіцієнта теплопровідності кабачків і гарбузів при заморожуванні свідчить про те, що цей показник після проходження криоскопічної температури збільшується, що пов'язано з підвищенням кількості вимороженої води.

Встановлено, що коефіцієнт теплопровідності як функція від температури дозволяє виконувати більш точний розрахунок процесів заморожування, зберігання в замороженому вигляді і дефростації овочевої продукції.

Запропоновані формули можуть бути використані для обчислення коефіцієнтів теплопровідності різних овочів і визначення температури зберігання.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Ялпачик, В.Ф. Підготовка гарбуза до заморожування [Текст] / В.Ф. Ялпачик, В.Г. Тарасенко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. – 2008. – Вип. 8, том 1.– С. 166-169.

2. Ялпачик, В.Ф. Характеристика кабачків як перспективного об'єкта на ринку швидкозамороженої продукції [Текст] / В.Ф. Ялпачик, В.Г. Тарасенко // Вісник харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУ. – 2007. – Вип. 58 “Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових

виробництв”.– С.262-266.

3. Ялпачик, В.Ф. Определение теплофизических свойств кабачков при замораживании [Текст] / В.Ф. Ялпачик, В.Г. Тарасенко // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА. – 2007. – Вип. 7, том 1. – С. 58-61.

4. Тарасенко, В.Г. Змінення властивостей плодів кабачків у процесі заморожування і тривалого зберігання [Текст] / В.Г. Тарасенко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Вип. 10 Т.3 Мелітополь: ТДАТУ, 2010. с. 106-112.

5. Тарасенко, В.Г. Зберігання плодів кабачків у замороженому стані [Текст] / В.Г. Тарасенко // Зб. матеріалів 7-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології» / Одеська держ. академія холоду. – Одеса : ОДАХ, 2011. – С.52.

6. Тарасенко В.Г. Оптимізація процесу заморожування кабачків і гарбузів [Текст] / В.Г. Тарасенко, С.В. Кюрчев // Збірник тез всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів [„Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: наукові пошуки молоді”], (26 березня 2014 р.) / редкол. О.І. Черевко [та ін.]. – Харків: ХДУХТ, 2014. – Ч.1. – С.348.

7. Патент на корисну модель №26205 Україна, МПК А23В7/04 Спосіб підготовки кабачків до зберігання / В.Г Тарасенко, В.Ф.Ялпачик: Заявл. 23.04.2007, Опубл. 10.09.2007 Бюл. №14 – 2с.

8. Патент на корисну модель № 100658 Україна, МПК F25D 3/11 (2006.01) Пристрій для попереднього підморожування харчових продуктів / В.Г. Тарасенко, В.О. Петров, С.В. Кюрчев: Заявл. 03.11.2014, Опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15 - 2с.

Тема 3 Підвищення ефективності процесів та обладнання для диспергування та гомогенізації харчових емульсій і змішування рідких компонентів

Розділ 3.1 Оптимізація параметрів процесу гомогенізації молока в пульсаційних апаратах

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є показники ефективності гомогенізації молока в роторно-пульсаційному апараті.

Предмет дослідження – залежності, що пов'язують ефективність (ступінь диспергування та енерговитрати) пульсаційного апарату з вібруючим ротором з конструктивними та технологічними його параметрами.

Проведені дослідження ставили за мету визначення особливостей процесу гомогенізації молока у пульсаційному апараті (ПА), встановлення впливу прискорення потоку на дисперсні показники молочної емульсії.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- аналітичне визначення залежності прискорення молочної емульсії як основного фактору руйнування жирових часток молока від конструктивно-кінематичних параметрів ПА з ВР;

- встановлення залежності діаметра часток молочного жиру (жирових кульок) від прискорення молочної емульсії та конструктивно-кінематичних параметрів ПА з ВР;

- визначення дисперсних показників емульсії молока після обробки в ПА з ВР.

Методи досліджень – поставлені задачі вирішувалися з використанням теоретичних методів дослідження, що дозволили досягти основних результатів роботи і підтвердити їхню вірогідність методом активних експериментів. Використовувалися методи диференційного та інтегрального обчислення, основні положення теоретичної механіки і гідравліки, аналітичної геометрії, комп'ютерної технології, методами математичного аналізу і математичної статистики.

Обґрунтовано вплив основних кінематичних і конструктивних параметрів пульсаційного гомогенізатора з ротором, що вібрує на середнє прискорення емульсії в отворах переривника. Встановлено залежність середніх розмірів жирових кульок молока від прискорення емульсії в переривнику апарата та частоти обертання й амплітуди вібрації ротора. Визначені дисперсні характеристики молока після гомогенізації.

Ключові слова: гомогенізація молока, гомогенізатор, пульсаційний апарат з ротором, що вібрує

ПУЛЬСАЦІЙНИЙ АПАРАТ, ПУЛЬСАЦІЙНИЙ ГОМОГЕНІЗАТОР, ГОМОГЕНІЗАЦІЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ

ВСТУП

Сьогодні важко знайти технологічну схему виробництва молочного продукту, де б не використовувалась гомогенізація. Для молока гомогенізація призводить до покращення смакових та сенсорних властивостей, підвищення в'язкості та стабільності, сприяє кращій засвоюваності більш дрібних часток молочного жиру і іншим перевагам. Сучасні апарати, які використовуються для гомогенізації молока, часто не відповідають сучасним вимогам якості та енергозбереження. Найбільш розповсюджені – клапанні гомогенізатори – відрізняються найвищими якісними показниками дисперсності молочної емульсії, але мають енерговитрати більш 7 кВт/т. Вакуумні, ультразвукові та роторні, незважаючи на низькі енерговитрати, не забезпечують високого ступеня диспергування. Гомогенізатори надвисокого тиску і микрофлюїдизатори, навпаки, при високому ступені дисперсності отримуваної емульсії, мають надвисокі енерговитрати. Зважаючи на це і враховуючи сучасні тенденції до впровадження енергозберігаючих технологій, актуальною проблемою молочної промисловості є розробка апаратів для гомогенізації молока з якісними показниками дисперсності молочної емульсії, порівняних з обробкою в клапанних машинах, але зі зниженими енерговитратами.

Програма досліджень на 2016 р.

1. Розробка програми та методики досліджень
2. Теоретичне та експериментальне дослідження гомогенізації молока в пульсаційному апараті з вібруючим ротором
3. Обробка, аналіз одержаних результатів

1. Методика досліджень

Обладнання та методи досліджень гомогенізації молока в пульсаційному гомогенізатор з ротором, що вібрує

Методи теоретичних досліджень, розрахункова схема та принцип дії апарата

Теоретичні залежності між конструктивно-кінематичними та технологічними параметрами ПА з ВР визначалися за допомогою класичних залежностей гідравліки та механіки, теорії дискретно-імпульсного введення енергії, коливань консервативних лінійних систем.

ПА з ВР складається з циліндричних ротора і статора з отворами, встановлених з зазором δ , величина якого 0,2 – 0,5 мм (рис. 1).

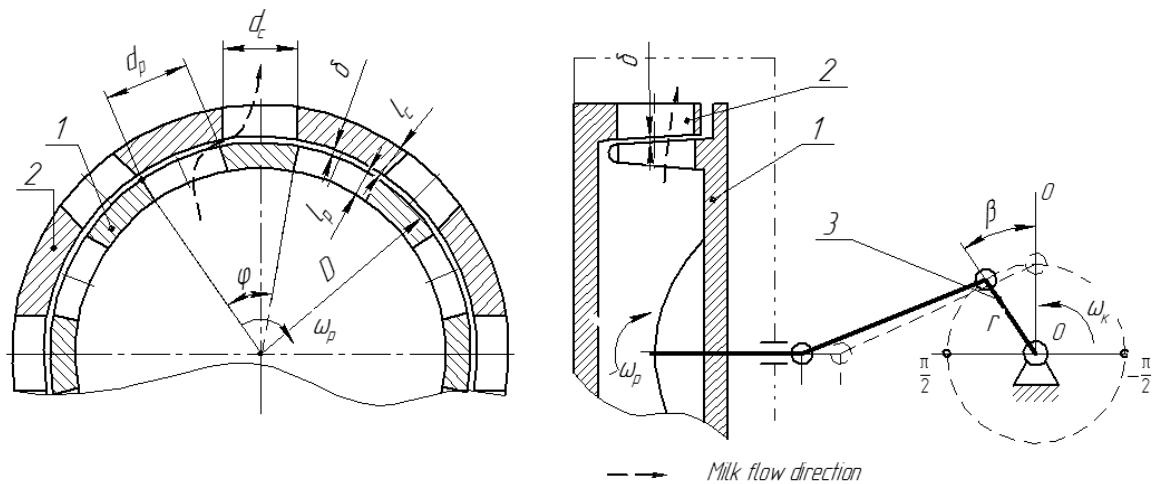


Рис. 1. Розрахункова схема ПА з ВР: 1 – ротор; 2 – статор; 3 – кривошипний механізм приводу вібрації ротора.

Канал ротора l_p , міжциліндровий зазор і канал статора l_c утворюють довжину каналів модулятора. Кількість отворів в роторі і статорі з однакова для виконання умови рівності пульсацій молочної емульсії в кожному каналі. З цією ж метою діаметри отворів ротора d_p і статора d_c рівні. Для створення вібрації ротора служить кривошипний механізм. Електродвигун приводу обертання ротора з'єднаний з валом ротора клинопасовою передачею. Така передача припускає відхилення на 1 – 2 мм при коливаннях ротора (вібрації) вздовж вісі обертання.

При обертанні ротора ПА з ВР його отвори періодично збігаються та перекриваються з отворами статора, змінюючи площу прохідного перерізу переривнику РПА. При обертанні ротора з лопатками, встановленими всередині ротора, 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 в резонансному режимі.

Методи експериментальних досліджень, об'єкт дослідження та спосіб визначення дисперсних показників молочної емульсії

В якості об'єкта експериментальних досліджень використовували молоко коров'яче жирністю 3,2-4,5% з середнім розміром жирових кульок 2,4–3,1 мкм.

Розміри жирових кульок молока після гомогенізації підраховували за допомогою оптичного мікроскопа з приєднаною цифровою камерою з використанням мірного окуляра [23]. Пробу молока розводили дистильованою водою у пропорції 1:10. Для підвищення точності з кожного зразка емульсії готували 3 розведення, а з кожного розведення – 2 препарати. Отримані цифрові зображення обробляли комп'ютерною програмою аналізу зображень для визначення кількості жирових кульок і їх розмірів. Кожен дослід повторюва-

вся 3 рази, після чого визначалося середнє арифметичне і здійснювалась перевірка на грубі похибки (методом оцінки максимальних розбіжностей результатів дослідів).

Конструкція експериментальної установки для гомогенізації молока в ПА з ВР

Для проведення експериментальних досліджень була розроблена експериментальна установка [18], загальний вид якої показана на рис. 2, а будова гомогенізуючого вузла – на рис. 3.

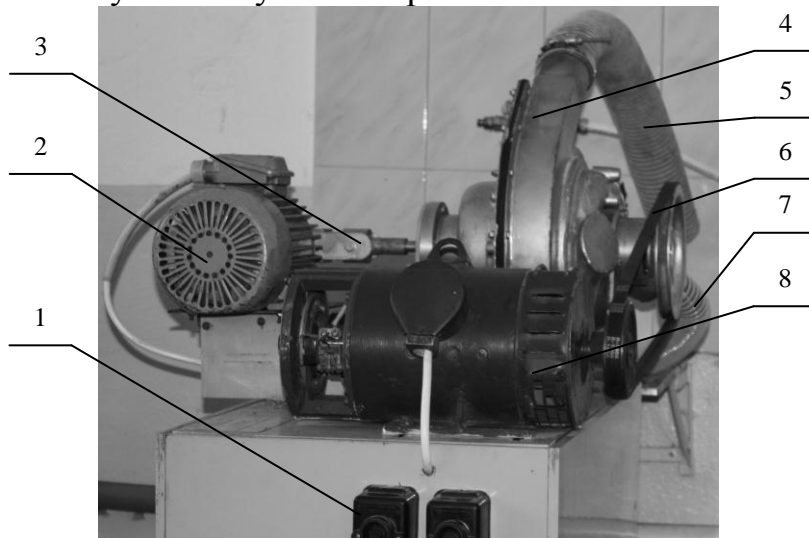


Рис. 2. Конструкція експериментальної установки пульсаційного апарату з вібруючим ротором:

1 – пульт керування; 2 - електродвигун приводу вібрації ротора; 3 – кривошипний механізм; 4 – гомогенізуючий вузол; 5 – патрубок відведення продукту; 6 – клинопасова передача обертання ротора; 7 – патрубок подачі молока; 8 – електродвигун приводу обертання ротора.

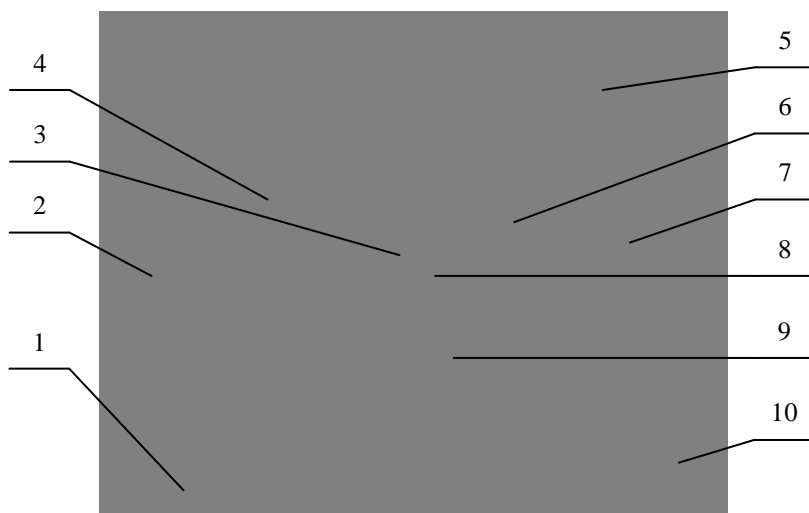


Рис. 3. Будова гомогенізуючого вузла пульсаційного апарату з вібруючим ротором:

1 – патрубок відведення продукту; 2 – вісь ротора; 3 – лопатки; 4 – кор-

пус; 5 – кришка; 6 – статор; 7 – перепускний вентиль; 8 – отвори ротора; 9 – розгонні пази ротора; 10 – патрубок подачі продукту.

Для можливості зміни частоти обертання використаний електродвигун постійного струму. Амплітуду вібрації ротора змінювали регулюванням радіусом кривошипу у межах 0,5-1,5 мм. Лопатки, встановлені в порожнині ротора і розгонні пази дозволяють використовувати апарат без зовнішнього насоса, на відміну від типових РПА.

Робоча камера ПА з ВР (див. рис. 3) має лопатки 3 для підвищення насосного ефекту та розгонні пази, що дозволяє такому РПА працювати без додаткових насосів. В порожнині створюється надлишковий тиск рідини, під дією якого продукт відводиться з апарату через патрубок 1. Радіальні отвори ротора 8 та статора 6 створюють необхідну пульсацію рідини, формуючи модулятор ПА. В пазах 9 здійснюється зіткнення цих потоків емульсії, що додатково підвищує ефективність емульгування продукту. Перепускний вентиль 7 необхідний для заповнення продуктом робочого простору гомогенізуючого вузла при його пуску.

Фактори експериментальних досліджень

Змінними факторами при проведенні експериментальних досліджень обрано:

- частота обертання валу кривошипу ω_k (діапазон зміни 150–300 с⁻¹);
- радіус кривошипу r (діапазон зміни 0,5–1,5 мм).

Частота обертання ротора встановлювалась згідно формули $\omega_p = \omega_k / 6$ для роботи установки в резонансному режимі. З цією ж метою встановлювалась різниця між кутами β і φ рівна 270^0 . Постійність цього контролювалась перед початком кожного дослідження мітками на валу ротора, кривошипа та корпусі ротора.

Незмінні фактори: діаметр ротора $D=0,15$ м, – кількість отворів у роторі (і статорі) $z=6$, зазор між ротором та статором $\delta=1$ мм, довжина ротора $l_p=5$ мм, довжина статора $l_c=10$ мм.

2. Теоретичне та експериментальне дослідження гомогенізації молока в пульсаційному апараті з вібруючим ротором

Результати досліджень гомогенізації молока в пульсаційному гомогенізаторі з ротом, що вібрує

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 [24]

$$v_o = \frac{60 \omega_k r D \cos \beta}{\frac{\pi^2 D}{2z} \left(1 + \sin\left(\varphi z - \frac{\pi}{2}\right) \right) + 8\pi\delta} + \frac{\pi \omega_p D^2}{4z(l_p + \delta + l_c)} \left\{ \frac{\varphi z}{2\pi} \right\}. \quad (1)$$

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

ω_k , ω_p – частота обертання відповідно валу кривошипу та ротора, c^{-1} ;

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, а друга – відцентровим тиском при обертанні ротора.

При створенні резонансу збільшується амплітуда пульсацій емульсії в переривнику, що підвищує ефективність гомогенізації. Умовою виникнення резонансу є виконання рівності $\omega_p = \omega_k / z_p$ або $\varphi = \beta / z_p$ [25] і кут зсуву фаз між обертанням ротора та валу кривошипу $\beta = 3\pi / 2$ [26]. З урахуванням цих умов рівняння (1) перетворюється до вигляду

$$v_o = \frac{60 \omega_k r D \cos(\beta - 3\pi / 2)}{\frac{\pi^2 D}{2z} \left(1 + \sin\left(\beta - \frac{\pi}{2}\right) \right) + 8\pi\delta} + \frac{\pi \omega_p D^2}{4z(l_p + \delta + l_c)} \left\{ \frac{\beta}{2\pi} \right\}. \quad (2)$$

Для знаходження прискорення a , продиференціюємо останнє рівняння, враховуючи, що $dt = (1 / \omega_k) d\beta$, в результаті чого отримаємо

$$a = \frac{dv_o}{dt} = \frac{\pi \omega_k^2 D^2}{4z^2(l_p + \delta + l_c)} - \frac{30\omega_k^2 D r \left[\frac{2K}{\pi} \sin\left(\omega_k t - \frac{3\pi}{2}\right) + \frac{D}{z} \cos\left(\omega_k t - \frac{3\pi}{2}\right) \cos\left(\omega_k t - \frac{\pi}{2}\right) \right]}{K^2}, \quad (3)$$

де $K = \frac{\pi D}{2z} \left(1 + \sin\left(\omega_k t - \frac{\pi}{2}\right) \right) + 8\delta$ – коефіцієнт, що характеризує зміну

геометрії модулятора ПА з ВР з часом, м.

Графічно отримана залежність $a = f(t)$ при $D = 0,15$ м, $\omega_k = 300$ c^{-1} , $\omega_p = 50$ c^{-1} , $r = 1$ мм, $z = 6$, $\delta = 1$ мм, $l_p = 0,005$ м, $l_c = 0,01$ м показана на рис. 4.

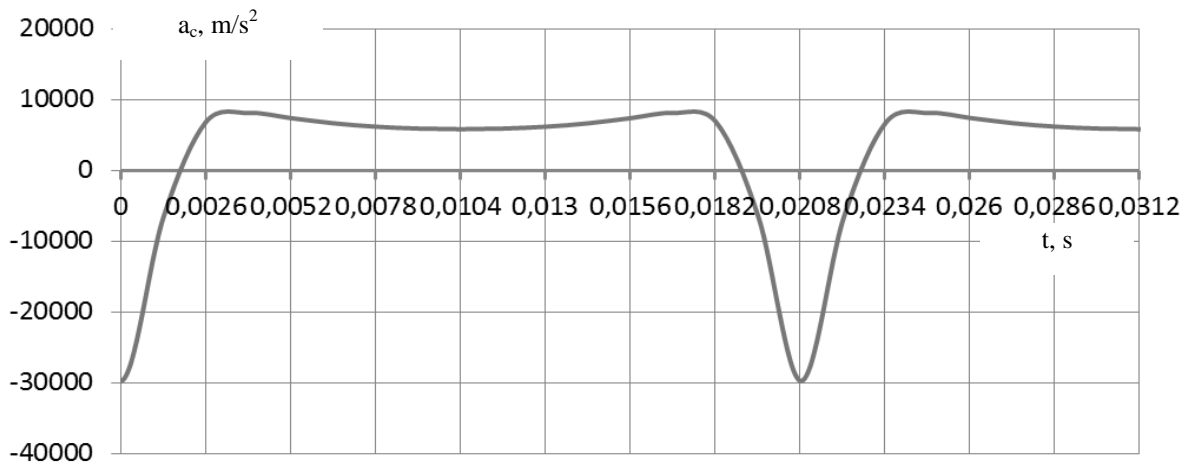


Рис.4. Залежність прискорення рідини a_c в отворах модулятора від часу t .

Середнє прискорення a_c визначимо для умов, що відповідають $t = 0,0026 - 0,0182$ с (див. рис. 4), де прискорення практично не змінюється

$$a_c = \omega_k^2 D^2 \left(\frac{\pi}{4z^2 (l_p + \delta + l_c)} + \frac{30r}{z \left(\frac{\pi D}{2z} + 8\delta \right)^2} \right). \quad (4)$$

На початку та в кінці циклу закриття та відкриття отворів максимальне прискорення більше ніж в 3 рази перевищує середнє, тому в ці періоди часу ступінь подрібнення жирових кульок значно перевищує розраховані за останньою формулою.

З отриманого виразу легко побачити, що найбільший вплив на прискорення справляє частота обертання кривошипу $a_c \sim \omega_k^2$. Збільшення радіусу кривошипу призводить до лінійного збільшення другого доданку (рис. 5).

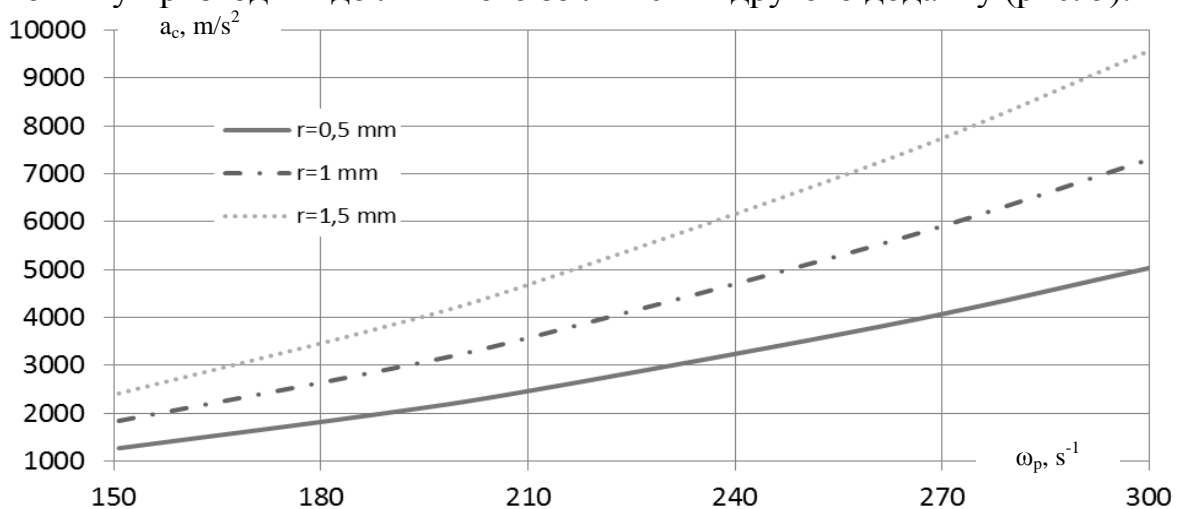


Рис. 5. Вплив частоти обертання ω_p та радіусу кривошипу r на середнє прискорення a_c .

Кількість отворів z визначає частоту обертання ротору ($\omega_p = \omega_k / z$), тому істотно впливає на a_c . Зв'язок між прискоренням та діаметром ротора приблизно можна виразити як $a_c \sim D$ (рис. 6.).

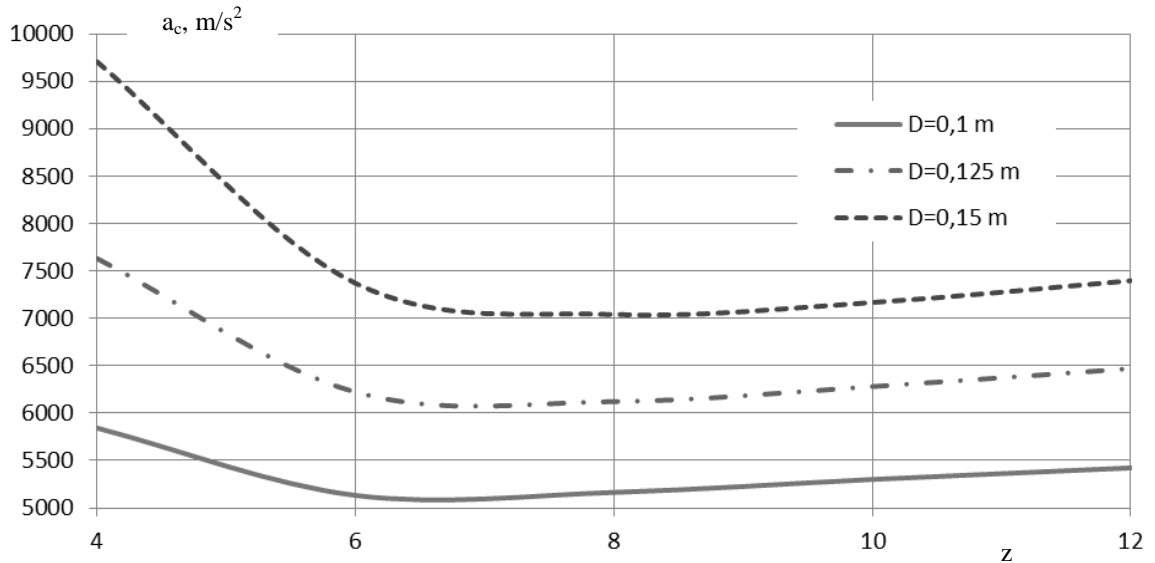


Рис. 6. Вплив кількості отворів z та діаметру ротора D на середнє прискорення a_c .

Графік має мінімум, який приходить на $z=6 \dots 8$. При зменшенні кількості отворів до 4 прискорення зростає, причому темпи зростання тим істотніше, чим більше діаметр ротора. У діапазоні $z=7 \dots 12$ можна вважати, що прискорення лінійно зростає при збільшенні діаметру ротора.

Таким чином максимальні умови для подрібнення жирових кульок молока створюються при $z=4$, $(\omega_k, r, D) \rightarrow \max$ і $\delta, l_p, l_c \rightarrow \min$. Діапазон коливання параметрів δ, l_p, l_c невеликий, тому їх вплив на a_c незначний.

В експериментальній частині досліджень при комбінації змінних факторів (вказаних у п. 4.3) розраховувалось значення середнього прискорення молочної емульсії a_c (згідно формули (4)) і визначався середній розмір жирових кульок молока (рис. 7).

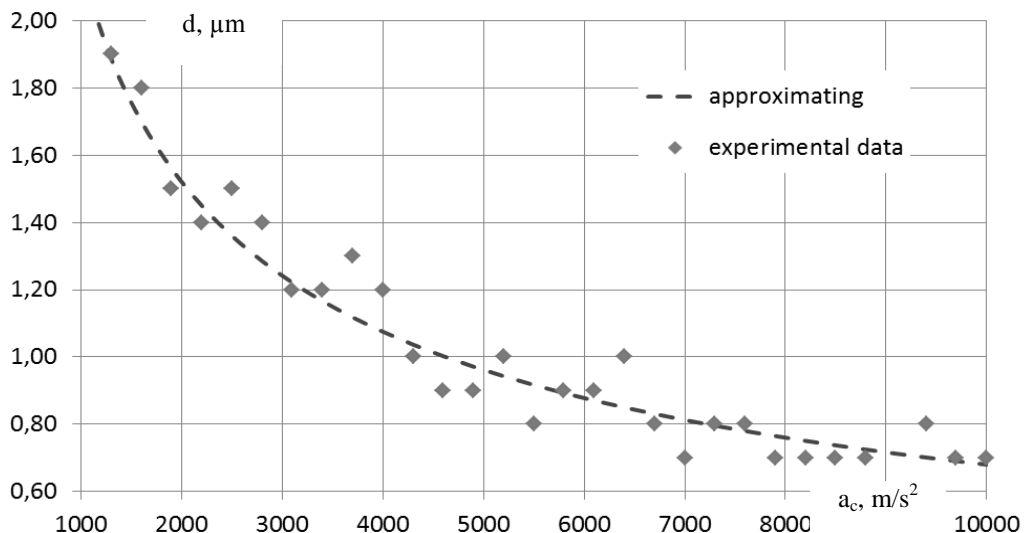


Рис. 7. Залежність між середнім діаметром жирових кульок d після гомогенізації та прискоренням молочної емульсії a_c .

Результати з достовірністю 92% апроксимуються виразом (на рис. 7 показано штриховою лінією)

$$d = \frac{68}{\sqrt{a}}. \quad (5)$$

Слід зауважити про подібність отриманої залежності з формулою нестійкості Релея-Тейлора для руйнування крапель рідини [11, 27]. Це свідчить про подібність механізмів руйнування за нестійкістю Релея-Тейлора з диспергуванням жирових кульок у ПА з ВР.

Представимо результати експерименту у іншому вигляді (рис. 8).

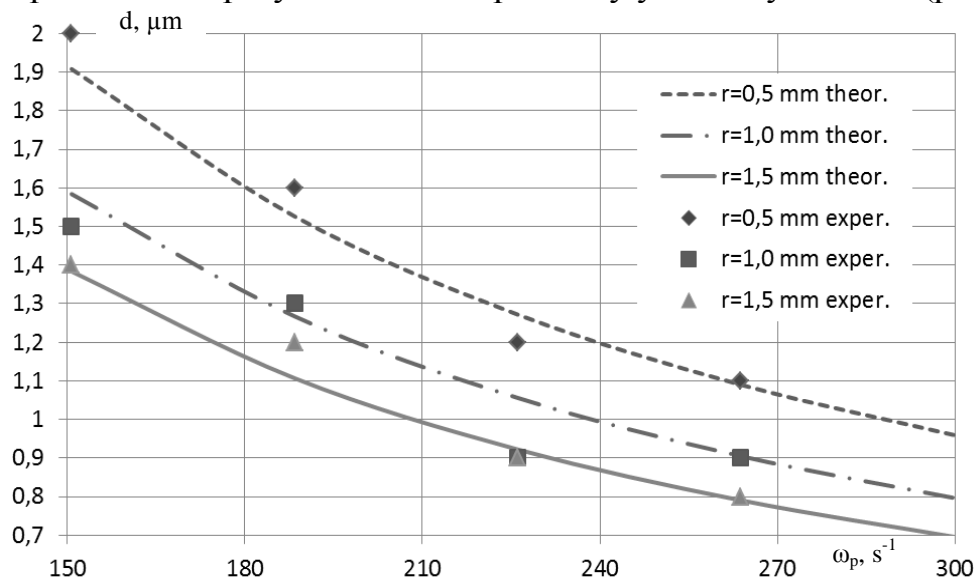


Рис. 8. Залежність середнього розміру жирових кульок молока d від частоти обертання ротора ω_p та радіусу кривошипу r .

З результатів слідує, що однакову дисперсність можливо отримати при різних ω_k та r . Наприклад $d=0,8$ мкм можливо отримати при $r=1,5$ мм і $\omega_k=260$ s^{-1} та при $r=1,0$ мм і $\omega_k=300$ s^{-1} .

Проведено порівняння фракційного складу жирових кульок після гомогенізації в ПА з ВР (при $n_k=2880$ об/хв, $r=1$ мм) з клапанною гомогенізацією (при тиску 16 МПа). Молоко до гомогенізації характеризується такими параметрами: середній діаметр жирових кульок $D=2,6$ мм, дисперсія $\sigma=1,7$, коефіцієнт варіації (частка розсіювання признаку відносно середнього) $V=68\%$. Відповідно для молока після гомогенізації у ПА з ВР та клапанному гомогенізаторі А1-ОГ2М: $D=0,8$ мм та $0,9$ мм, $\sigma=0,38$ і $0,44$, $V=46$ і 49% відповідно.

Середній діаметр жирових кульок при обробці у ПА з ВР зменшився на 11% у порівнянні з клапанною, зменшилося значення дисперсії, що свідчить про підвищення якості гомогенізованої емульсії.

3. Обробка, аналіз одержаних результатів

Залежність прискорення рідини в отворах модулятора (див. рис. 4) демонструє сплески прискорення, які відбуваються в моменти відкриття та закриття модулятора ПА з ВР. Згідно існуючої теорії гомогенізації у роторно-пульсаційних апаратах саме у моменти закривання отворів ротора у статорі апарата створюється розрідження, яке викликає руйнування жирових кульок молока за рахунок кавітації. Час, протягом якого істотний вплив справляють кавітаційні ефекти ($t=0,0182-0,0234$ с) складає лише 25% від тривалості всього циклу закриття-відкриття переривника ($0,0208$ с) для ПА з ВР. Для роторно-пульсаційного апарату доля тривалості кавітаційних ефектів буде подібною до ПА з ВР. Можливо це одна з основних причин існування істотного відсотку великих жирових часток у молоці після обробки в РПА. Частина жирових кульок, проходячи крізь отвори переривника у моменти його повного відкриття не піддається впливу кавітації, тому залишається неподрібною.

Для ПА з ВР синхронізація коливальних і обертальних рухів ротора здійснена таким чином, щоб підтримувати значення прискорення на максимальному рівні. В середині циклу при повному відкритті отворів ($t=0,0104$ с) прискорення зменшується лише на 26%, що показує набагато більш високу рівномірність впливу на жирову фазу молока ніж в РПА та дозволяє прогнозувати високі показники дисперсності емульсії після обробки.

Аналізуючи рівняння середнього прискорення (4) та графічні залежності впливу ω_p , r , D та z (див. рис. 5, 6) найбільший інтерес представляють мінімуми на графіку при зміні z (див. рис. 6). Результати показують, що існують значення кількості отворів (6...10), при яких прискорення, а отже і ефективність гомогенізації Па з ВР мінімальна. Найбільше прискорення можливо отримати при кількості отворів 4 і менше. При кількості отворів менше 4 на визначення прискорення починає суттєво впливати викривлення площини розташування отворів ротора. При великій кількості отворів, при виводі формули (4) вважали, що отвори переривника ПА з ВР є плоскими. Але таке припущення вже не можна вважати дійсним при $z=4$ та менше.

Конструктивні параметри ротора ПА з ВР знаходяться у тісному взаємозв'язку. Зменшення кількості отворів, для забезпечення оптимальної синхронізації фаз, спричиняє збільшення їх діаметра та ширини ротора (при незмінному діаметрі ротора), що призводить до витрати емульсії крізь переривник. Водночас при незмінній частоті обертання це викликає зменшення частоти пульсацій та підвищення часу циклу закриття-відкриття переривника. Накладання цих факторів призводить до результатів, показаних на рис. 6.

Взаємозв'язок середнього прискорення та середнього розміру часток емульсії після гомогенізації в ПА з ВР – найважливіший етап дослідження, який дозволяє довести або спростувати теорію про визначальний вплив прискорення емульсії в процесі гомогенізації молока. Як бачимо (рис. 7) достовірність апроксимації залежності діаметра жирових кульок від прискорення емульсії досить висока (92%). Причому характер залежності подібний, на-

приклад, до залежності середнього діаметру жирових кульок від тиску для клапанної гомогенізації, а також для струминної та пульсаційної гомогенізації. Загалом, при підвищенні інтенсивності впливу, темпи збільшення дисперсності знижуються.

У більшості механізмів диспергування крапель основним фактором руйнування є швидкість потоку. Швидкість є ключовим фактором для клапанної, струминної та пульсаційної гомогенізації. Швидкість легко розрахувати і визначити для кожного конкретного типу гомогенізатора. Але однакові значення швидкості, наприклад, для струминної та клапанної гомогенізації, дають зовсім різний ступінь гомогенізації. Прискорення в цьому сенсі обіцяє бути більш універсальним показником для багатьох типів гомогенізаторів. Механізм руйнування крапель Релея-Тейлора виділяється тим, що оснований на розрахунку прискорення потоку. Ґрунтовно подібність диспергування за механізмом Релея-Тейлора та під час гомогенізації у ПА з ВР ще маємо з'ясувати у подальших дослідженнях.

За результатами досліджень енерговитрат ПА з ВР оптимальними будуть режими з мінімальним r . В цих режимах енерговитрати мінімальні. Отже при $r=1,0$ мм (що дорівнює амплітуді коливання 2 мм) питомі енерговитрати процесу є меншими. Отже при створенні промислових зразків ПА з ВР при виборі раціональних режимів гомогенізації слід обирати режими з мінімальною амплітудою вібрації ротора. Це пояснюється тим, що при збільшенні амплітуди осьових вібрацій ротора, прискорення збільшується менш істотно, ніж при збільшенні частоти обертання.

Експериментальні результати дослідження дисперсного складу молока після обробки в ПА з ВР і порівняння їх клапанною (якість якої є повністю задовільною для будь-яких процесів молочної промисловості) свідчать про перевагу обробки в ПА з ВР. Причому ці показники досягаються при питомих енерговитратах у 3 рази менших за обробку в клапанних гомогенізаторах. Слід зауважити, що при вищезазначених перевагах, конструкція ПА з ВР, яка містить вібруючий робочий орган, досить складна і за цим показником наближується до клапанних гомогенізаторів, які є одними з найскладніших і коштовних апаратів для гомогенізації. Тому зниження негативного впливу вібрації – це проблема, яку необхідно буде вирішити при створенні промислових зразків ПА з ВР. Ще одним питанням, яке необхідно буде з'ясувати – можливість використання ПА з ВР для в'язких продуктів, таких як вершки, майонез, суміші для морозива і т.п.

Висновки

В результаті проведених аналітичних та експериментальних досліджень:

- визначений вплив основних параметрів ПА з ВР на показник середнього прискорення оброблюваної емульсії;
- встановлена емпірична залежність між середнім діаметром жирової кульки та середнім прискоренням емульсії в переривнику ПА з ВР, яка доводить, що прискорення потоку емульсії є основним чинником гомогенізації в

ПА з ВР;

– визначено, що при частотах обертання валу кривошипу до 2880 об/хв і амплітуді коливання ротора 1 мм можливе отримання молочної емульсії з середнім розміром близько 0,8 мкм, що порівняно з обробкою в клапанних гомогенізаторах (при тиску 16МПа).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Самойчук К.О. Методика розрахунку пульсаційного гомогенізатора з вібруючим ротором/К.О. Самойчук, А.О. Івженко//Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету: Вінниця – 2015. – Вип. 1 (89)– Том.2, №1. – С. 133 – 138.
2. Самойчук К.О. Рівняння зміни площі прохідного перетину модулятора в пульсаційному апараті з вібруючим ротором/К.О. Самойчук, А.О. Івженко// Наукові праці НУХТ: Київ – 2015. – Том.21, №4. – С. 164 – 170.
3. Дейниченко Г.В. Підвищення ефективності процесу гомогенізації молока в пульсаційному гомогенізаторі з вібруючим ротором/ Г.В. Дейниченко, К.О. Самойчук // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності» 8-11 вересня 2015 року – Мелітополь-Кирилівка, 2015, – с.384 – 386.
4. Самойчук К.О. Дослідження імпульсного гомогенізатора молока/ К.О.Самойчук, А.О. Івженко, В.О. Султанова // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності» 8-11 вересня 2015 року – Мелітополь-Кирилівка, 2015, – с.91 – 92.
5. Івженко А.О. Методи інтенсифікації процесів диспергування й гомогенізації в роторно-пульсаційних апаратах/ А.О. Івженко, О.В. Гвоздєв //Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції "Перспективна техніка і технологія" - 2008.: Миколаїв. –С. 166-167.
6. Івженко А.О. Исследование влияния рециркуляции на качество готового продукта на основе корреляционного анализа/ А.О. Івженко // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції "Сучасні проблеми техніки та технології харчових виробництв, ресторанного бізнесу та торгівлі" 18 листопада 2010 р.: Харків. – 2010. С. 268-269.
7. Самойчук К.О. Аналіз методів оцінювання якості гомогенізації молока/ К.О. Самойчук, О.О. Ковальов, А.О. Івженко// Праці ТДАТУ.: Мелітополь – 2012. – Вип.12, Т.4. – С. 222-229.
8. Самойчук К.О. Експериментальні дослідження диспергування жирової емульсії в пульсаційному апараті з вібруючим ротором / К.О. Самойчук, А.О. Івженко // Обладнання та технології харчових виробництв : Донецьк – 2013.– Вип. 30. – С. 155-161.
9. Самойчук К.О. Визначення резонансних режимів роботи пульсаційного апарата з вібруючим ротором / К.О. Самойчук, А.О. Івженко // Обладнання та технології харчових виробництв : Донецьк – 2013.– Вип. 31. – С. 74-82.
10. Самойчук К.О. Розрахунок енерговитрат пульсаційного апарата з вібруючим ротором / К.О. Самойчук, А.О. Івженко //Наукові праці Одеської національної академії харчових виробництв: Одеса – 2013.– Вип. 43. – Том 2 С. 133-137.

11. Пат. 94048, Україна, МКІ⁵ А01J 11/00. Спосіб гомогенізації та нормалізації молока /Самойчук К.О., Ковальов О.О., Ялпачик Ф.Ю.; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u201405343 ; заявл. 19.05.2014; опубл. 27.10.2014. Бюл. № 20.
12. Самойчук К.О. Механізми диспергування жирової фази в пульсаційному апараті з вібруючим ротором / К.О. Самойчук, А.О. Івженко// Праці ТДАТУ.: Мелітополь – 2013. – Вип.13, Т.7. – С. 11-20.
13. Самойчук К.О. Визначення продуктивності пульсаційного апарату з вібруючим ротором// К.О. Самойчук, А.О. Івженко // Наукові праці ОНАХТ: Одеса – 2014. – Вип. 45, Т.3 – С. 25 – 30.
14. Самойчук К.О. Определение скорости в модуляторе пульсационного гомогенизатора с вибрирующим ротором// К.О. Самойчук, А.О. Івженко //Вестник Могилёвского государственного университета продовольствия: Могилёв – 2014. – №1 (16). – С. 87 – 99.
15. Самойчук К.О. Аналіз методів оцінювання якості гомогенізації молока/ К.О. Самойчук, О.О. Ковальов, А.О. Івженко// Праці ТДАТУ.: Мелітополь – 2012. – Вип.12, Т.4. – С. 222-229.
16. Дейниченко Г.В. Синхронізація коливальних і обертальних рухів ротора у пульсаційному гомогенізаторі з вібруючим ротором /Г.В. Дейниченко, К.О. Самойчук, А.О. Івженко //Вібрації в техніці та технологіях : Вінниця – 2016. – №1 (81). –С. 122-131. (Index Copernicus (Польща), РИНЦ)
17. Дейниченко Г.В. Аналіз конструкцій гомогенізаторів молочної промисловості / Г.В. Дейниченко, К.О. Самойчук, А.О. Івженко, Л.В. Левченко// Праці ТДАТУ.: Мелітополь – 2016. – Вип.16, Т.1. – С. 9-15.
18. Самойчук К.О. Аналітичні дослідження умов диспергування жирової фази молока в пульсаційному гомогенізаторі/ К.О. Самойчук, Л.В. Левченко// Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету: Дніпропетровськ – 2016. – №1 (39). – С. 64–67. (AGRICOLA (США), РИНЦ)
19. Самойчук К.О. Методика расчёта степени дисперсности эмульсий/ К.О. Самойчук MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2016. Vol.18. No.2. P. 97–102. (?)
20. Дейниченко Г.В. Аналітичні дослідження енерговитрат пульсаційного гомогенізатора молока/ Г.В. Дейниченко, К.О. Самойчук, Л.В. Левченко// Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. Наукові праці ХДУХТ: Харків – 2016. – Вип.1 (23) С. 170-181. (Google Scholar)
21. Самойчук К.О. Механізми диспергування жирових кульок в струминному гомогенізаторі молока/ К.О. Самойчук, О.О. Ковальов // Наукові праці ОНАХТ: Одеса. – 2016. – Т.80, Вип.1. – С. 103–107. (WorldCat, Google Scholar, EBSCO, Ulrichs Web Global Serials Directory)
22. Самойчук К.О. Механізми диспергування жирових кульок в струминному гомогенізаторі молока/ К.О. Самойчук, О.О. Ковальов // Збірник праць XVI Міжнародної наукової конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв», ОНАХТ : Одеса. – 2016. – С.

81–85. (5–9 вересня 2016 р.)

23. Дейниченко Г.В. Ефективність гомогенізації молока у пульсаційному гомогенізаторі/ Г.В. Дейниченко, К.О. Самойчук, Л.В. Левченко// Вібрації в техніці та технологіях : Вінниця 2016 (Index Copernicus (Польща), РИНЦ)

24. Дейниченко Г.В. Вплив кратності обробки молочної емульсії в пульсаційному гомогенізаторі/ Г.В. Дейниченко, К.О. Самойчук, Л.В. Левченко// Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. Наукові праці ХДУХТ: Харків – 2016. – Вип.1 (23) С. 170-181. (Google Scholar)

25. Дейниченко Г.В. Струминні гомогенізатори молока / Г.В. Дейниченко, К.О. Самойчук, О.О. Ковальов // Міжнародна науково-практична конференція «Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність» 19 травня 2016 р. м. Харків

26. Самойчук К.О. Підвищення ефективності діяльності молокопереробних підприємств за рахунок впровадження нових типів гомогенізаторів/ К.О. Самойчук, Н.О. Паляничка // Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції "Підвищення ефективності діяльності підприємств харчової та переробної галузей АПК" 17-18 листопада Київ: НУХТ. – 2016. – С. 210–211.

27. Самойчук К.О. Гомогенізація жирової фази молока в пульсаційному апараті з ротором, що вібрує / Самойчук К.О., Паляничка Н.О., Верхоланцева В.О. // IV наукова конференція «Фундаментальні та прикладні дослідження у сучасній науці» (30 жовтня 2016 р., м. Харків). – Харків, Технологічний центр, 2016. – С. 86–87.

28. Samoichuk K. INVESTIGATION OF HOMOGENIZATION OF MILK IN A PULSATION MACHINE WITH A VIBRATING ROTOR/ K. Samoichuk, S. Kiurchev, V. Oleksiienko, N. Palyanichka, V. Verholantseva // East Europe Journal (у друці)

29. Samoichuk K. Research into usage efficiency of the pulsation machine with a vibrating rotor for milk homogenization/ K. Samoichuk, S. Kiurchev, V. Oleksiienko, N. Palyanichka, V. Verholantseva // Eurika (у друці)

30. Дейниченко Г.В. Аналітичне визначення дисперсності при обробці молока в пульсаційному гомогенізаторі// Дейниченко Г.В. Самойчук К.О. Левченко Л.В. Харків П Василенка (у друці)

31. Аналітичні дослідження енергетичної ефективності використання пульсаційного гомогенізатора молока// Воробйова О.В. Левченко Л.В. Самойчук К.О. (у друці)

32. Шляхи енергозбереження при гомогенізації молока Самойчук К.О. (у друці) Тези ТДАТУ.

Розділ 3.2 Підвищення ефективності струминної гомогенізації молока з роздільним подаванням жирової фази

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є показники ефективності гомогенізації молока в струминному гомогенізаторі молока з роздільним подаванням вершків.

Предмет дослідження – залежності, що пов'язують ефективність (ступінь диспергування або діаметр жирових кульок після подрібнення та енерговитрати) струминного гомогенізатору молока з роздільним подаванням жирової фази з його конструктивними та технологічними параметрами.

Мета роботи – є визначення шляхів зниження енерговитрат та підвищення якості гомогенізації молока.

Методи досліджень – поставлені задачі вирішувалися з використанням аналітичних методів дослідження, що дозволили досягти основних результатів роботи і підтвердити їхню вірогідність методом активних експериментів. Використовувалися методи засновані на основних положеннях теоретичної механіки і гідравліки, аналітичної геометрії, комп'ютерної технології, методами математичного аналізу і математичної статистики.

В результаті роботи для визначення ефективності гомогенізації молока в струминному гомогенізаторі молока з роздільним подаванням вершків оцінені головні фактори та параметри процесу, що впливають на ступінь подрібнення жирової фази та питомі енерговитрати. В результаті теоретичного аналізу досліджено вплив основних факторів: діаметру звуження центрального каналу, діаметру каналу подавання вершків і тиску подачі знежиреного молока на енергоефективність апарату та ступінь гомогенізації. Ці параметри дозволяють розробити методіку розрахунку струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків та забезпечити вихідні дані для розробки проектно-конструкторської документації гомогенізатора.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ, СТРУМИННА ГОМОГЕНІЗАЦІЯ, РОЗДІЛЬНА ГОМОГЕНІЗАЦІЯ, ДИСПЕРГУВАННЯ

ВСТУП

Технологічний процес гомогенізації використовується на підприємствах молочної промисловості близько ста років. Однак, за цей час науковці не дійшли єдності в питанні механізму диспергування жирової молочної фази. Серед відомих гіпотез гомогенізації близько 7 претендують на роль закінченої теорії, що призвело до появи десятків конструкцій апаратів для гомогенізації. Серед них перспективними, завдяки зниженню енерговитрат, підвищення якості дисперсного складу продукту та можливості одночасного проведення нормалізації суміші, є струминні гомогенізатори. Енергоефективність струминних апаратів ґрунтується на створенні високої різниці швидкостей між дисперсійною та дисперсною фазами продукту.

В центральній частині камери, в місці максимального звуження, виконані радіальні канали для подавання жирової фази. Таким чином, тонкі струмені вершків подаються у швидкісний потік знежиреного молока, завдяки чому створюються умови для високоефективного диспергування молочного жиру: створюється високий градієнт швидкості та швидкість ковзання жирової кульки відносно дисперсійного середовища. Внаслідок цього жирові кульки зазнають деформації, витягуються по чергово в тіло куполоподібної форми, сферу, тор та під дією тангенційних напружень, які перевищують межу міцності краплі, розпадаються на більш дрібні краплі.

Існують декілька можливих варіантів конструктивних рішень камери гомогенізації струминних апаратів для забезпечення максимальної різниці швидкостей фаз продукту: струминний гомогенізатор з роздільним подаванням жирової фази, струминний гомогенізатор з зустрічною подачею вершків до плазми молока, щільний струминний гомогенізатор, протитечійно – струминний гомогенізатор молока, струминний гомогенізатор молока з роздільним подаванням жирової фази в форсунках. З цих конструкцій струминний гомогенізатор молока з роздільним подаванням вершків відрізняється відсутністю спінування, зниженням енерговитрат, можливістю створення конструкції з мінімальним впливом облітерації каналів шаром продукту, підвищенням ступеня диспергування, можливістю варіювання відношення кількості вершків до кількості знежиреного молока.

Програма досліджень на 2016 р.

1. Розробка програми та методики досліджень
2. Теоретичне та експериментальне дослідження гомогенізації молока в струминному гомогенізаторі молока з роздільною подачею вершків
3. Обробка, аналіз одержаних результатів

1. Методика досліджень

Однією з проблем дослідження процесу гомогенізації є відсутність єдиної теорії процесу, зважаючи на швидкості процесу порядку сотень метрів на секунду та розмірів досліджуваних часток 1 – 3 мкм. В результаті теоретичних досліджень процесу була обґрунтована гіпотеза подрібнення жирових кульок вершків в потоці плазми знежиреного молока за рахунок створення максимальної різниці швидкостей фаз. На базі гіпотези був створений лабораторний зразок струминного гомогенізатору молока, схема якого надана на (рис.1).

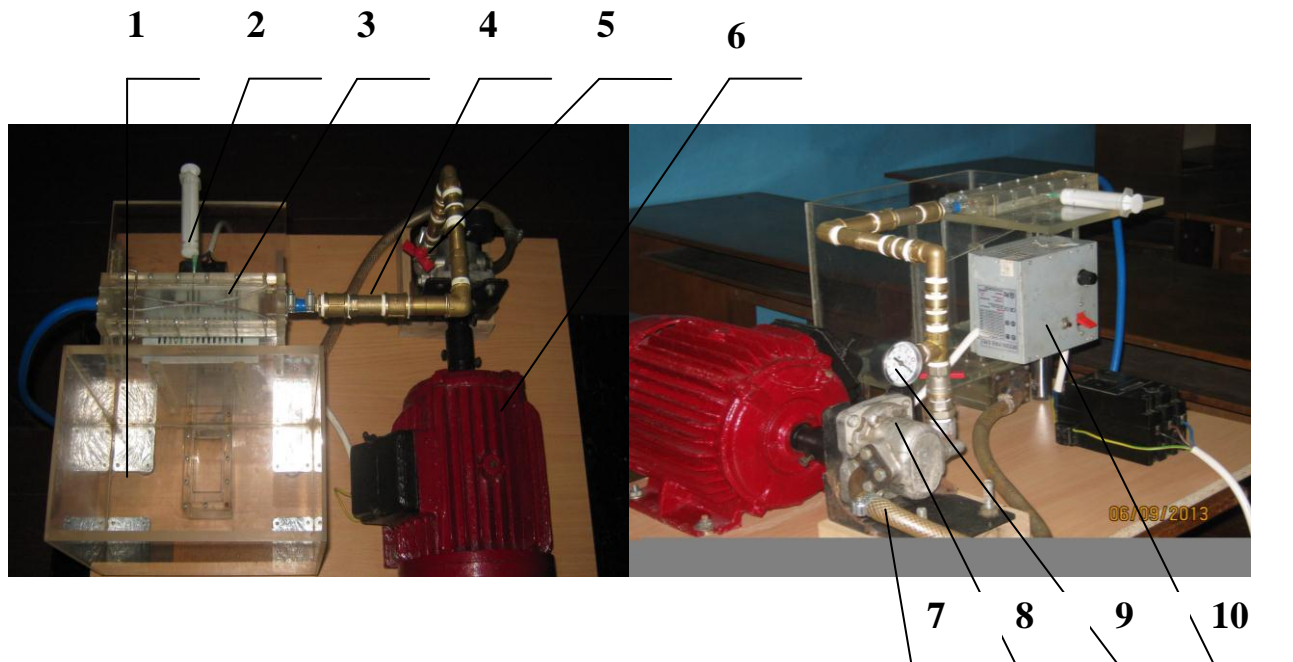


Рис. 1. Загальний вигляд струминного гомогенізатору молока з роздільним подаванням вершків:

1 – ємність для знежиреного молока, 2. – шприць для подачі жирової фази, 3. – камера гомогенізації, 4. – трубопровід, 5. – вентиль, 6. – двигун електричний, 7. – гнучкий трубопровід, 8. – насос для подачі знежиреного молока НШ – 6, 9. – манометр, 10. – електричний перетворювач частоти,

Одним з можливих шляхів підвищення ефективності процесу гомогенізації є використання роздільної гомогенізації молока. Роздільна гомогенізація молочних продуктів дозволяє регулювати вміст жиру в продукті, знижує небажаний вплив на молочний білок уникаючи процесів дестабілізації білкової фази при виробництві питного молока. Продуктивність при цьому зростає до 2 – 3 разів а енергетичні витрати знижуються на 50 – 70% за рахунок зниження об'єму продукту, що гомогенізується. Враховуючи ці принципи нами було запропоновано схему пристрою для струминної гомогенізації молока з роздільним подаванням вершків (рис. 1).

До подачі в пристрій для роздільної гомогенізації, молоко розділяється на знежирене молоко і вершки (рисунок 2). Знежирене молоко подається під тиском з певною швидкістю v_m , яка збільшується у центральній зоні пристрою за рахунок звуження потоку, величину якого можливо регулювати тягами. У місці найбільшого звуження подаються вершки по тонкому каналу. При взаємодії потоку та жирових кульок останні деформуються та подрібнюються.

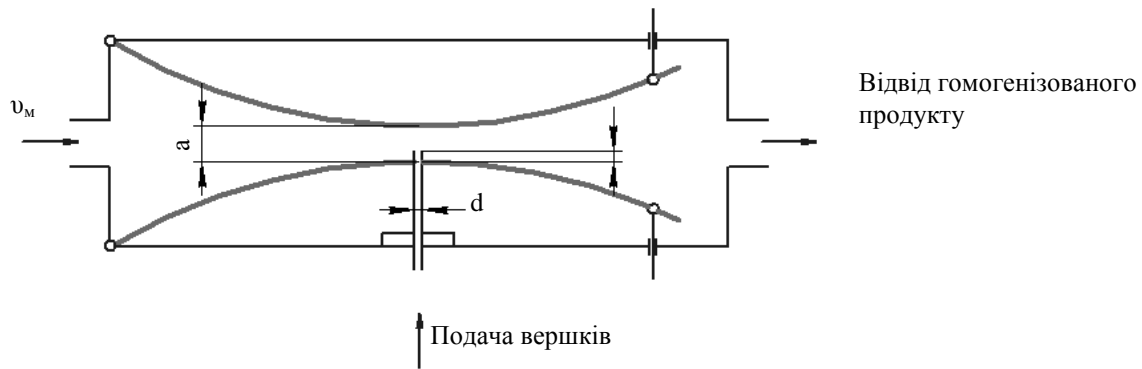


Рис. 2 – Схема струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків.

Зниження енергоємності процесу гомогенізації досягається, зокрема шляхом використання роздільної гомогенізації. Перевагами роздільної гомогенізації є зниження витрат енергії на 50 – 70%, за рахунок зменшення кількості гомогенізованого продукту, підвищення стабільності жирової фази та білків та обмеження небажаного механічного впливу на молочний білок при виробництві питного молока. Додатковою перевагою проведення роздільної гомогенізації є можливість регулювання жирності вихідного продукту шляхом зміни швидкості подавання вершків або швидкості подавання знежиреного молока в умовах підсмоктування вершків. Варіюванням діаметрів та кількістю каналів для ежектування вершків змінюється кількість вершків, що подається до пристрою, за допомогою чого досягається необхідна концентрація жиру отриманого продукту тобто здійснюється нормалізація молока.

Визначальною в процесі подрібнення жирової кульки умовою є створення режиму для досягнення критичного значення числа Вебера. В усіх розглянутих конструкціях руйнування відбувається шляхом витягання кульки в куполоподібне тіло з подальшим проривом під дією динамічних напружень середовища та поділом первинної краплі на велику кількість вторинних.

Враховуючи для ефективного проведення гомогенізації створення максимальної різниці швидкостей дисперійної та дисперсної фаз продукту необхідно розглянути можливі конструктивні рішення струминних гомогенізаторів молока для отримання продукту високої якості при зниженні енергетичних витрат процесу. Деякі з конструкцій, що розглядаються мають можливість поєднання операцій гомогенізації та нормалізації, чим, крім конструктивних особливостей пояснюється зниження витрат енергії. Отже, метою статті є шляхом варіювання формою каналів подавання вершків, тиском подавання вершків, діаметром каналів подавання вершків розглянути можливі конструктивні рішення камери струминного гомогенізатору та виявити їх переваги та недоліки.

2. Теоретичне та експериментальне дослідження гомогенізації молока в струминному гомогенізаторі молока з роздільною подачею вершків

Основна роль в процесі гомогенізації належить швидкості ковзання жирової кульки відносно плазми молока. Розглянуто вплив на диспергування різниці швидкостей фаз, осциляції, подрібнення без зіткнення потоку та струменю і механізму Колмогорова – Обухова, а також пульсацій вихорів дрібного масштабу. З'ясовано, що руйнування за механізмом Колмогорова-Обухова не матиме суттєвого впливу на процес диспергування, оскільки при ньому зменшення розмірів жирових кульок відбувається в пристінних шарах, які займають невелику частку площі камери гомогенізатору. При аналізі дії сил осциляції дійшли висновку, що в струминному гомогенізаторі молока крапля під впливом змінних напорів дисперсійного середовища не зазнає явища резонансу. Проведені теоретичні дослідження за способом диспергування жирової фази без зіткнення краплі з потоком, показали, що в залежності від числа Вебера в струминному гомогенізаторі молока з роздільним подаванням дисперсної фази буде відбуватись квазістатичне руйнування крапель жирової фази.

Можлива реалізація трьох типів конструкцій для реалізації принципу роздільної гомогенізації, та отже, отримання енергозберігаючого ефекту. Перший тип являє собою конструкцію показану на рисунку 1 в якому до швидкісного потоку знежиреного молока в місці найбільшого звуження потоку подаються тонким струменем вершки. Другим типом конструктивного рішення є розташування патрубків подавання знежиреного молока та вершків одне проти одного в плазмі молока камери гомогенізації. Останній тип являє собою щілинну камеру з якої вершки надходять до камери гомогенізації в певному відношенні. Отже, метою статті є аналіз переваг та недоліків кожного з можливих варіантів роздільної гомогенізації в струминних гомогенізаторах молока з роздільним подаванням жирової фази.

Жирова фаза в струминному гомогенізаторі молока з роздільною подачею вершків подається перпендикулярно до швидкісного потоку знежиреного молока. З теоретичної механіки відомо, що в цьому випадку швидкість жирової фази в точці зіткнення буде дорівнювати нулю. При цьому швидкість знежиреного молока в той же точці буде приймати максимальне значення. Під дією тангенційних напружень буде досягатись режим з критичними значеннями числа Вебера 80 - 120, що буде обумовлювати деформацію та подрібнення жирової кульки за описаним вище механізмом.

З точки зору енерговитрат спосіб є вигідним, оскільки має можливість створення режиму подавання знежиреного молока при якому відбувається підсмоктування вершків до камери, і, отже, економія електричної енергії. За теоретичними оцінками енерговитрати данного типу гомогенізаторів складуть близько 3 – 4кВт/т продукту.

Діаметр жирових часток буде залежати від швидкості знежиреного

молока, як функції надлишкового тиску; діаметру каналу подавання вершків, який має прагнути до мінімально можливих значень та діаметру камери гомогенізатору в місці найбільшого звуження центрального каналу гомогенізатору. Згідно отриманих теоретичних даних при моделюванні гомогенізації в програмному комплексі ANSYS $\Delta p = 3,5 - 4$ МПа; діаметру центрального каналу в місці найбільшого звуження $d_{ц} = 1$ мм; діаметру каналу подавання вершків $d_{в} = 1$ мм діаметр жирових кульок після гомогенізації $d = 1,0 - 1,1$ мкм.

До недоліків конструкції можна віднести можливість облітерації каналу або каналів подавання вершків, які мають бути для забезпечення високої якості продукту якомога менших значень.

Іншою конструкцією струминного гомогенізатору з роздільним подаванням вершків є струминний гомогенізатор з зустрічною подачею вершків до плазми молока (рис. 3).

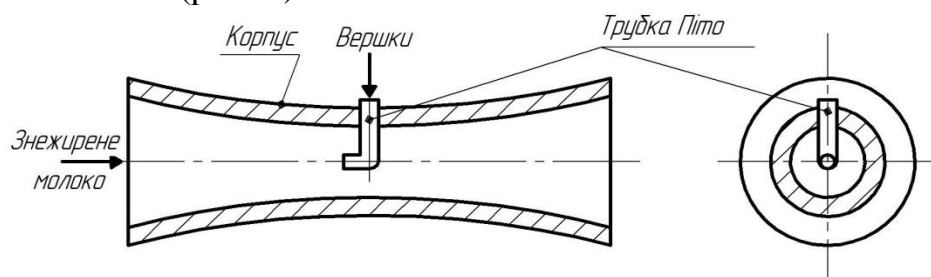


Рисунок 3 – Схема струминного гомогенізатору з зустрічною подачею вершків до плазми молока

Жирову фазу можливо подавати в повітряному середовищі, або в плазмі молока. Принциповою різницею між способами подавання буде характер руху жирової кульки в середовищі. Різниця характеру руху буде пов'язана з різною в'язкістю повітря та плазми молока, які взаємодіють з жировою кулькою яка буде різнитись в десятки разів. В повітряному середовищі кулька буде обтікаться потоком повітря з в'язкістю, що в рази різниться від в'язкості кульки, відтак, різницю швидкостей ковзання фаз створити не буде складати труднощів. У випадку подавання жирової фази в зустрічному напрямку до плазми молока жирова кулька, що рухається втягує до свого руху сусідні шари рідини, тобто створити різницю швидкостей фаз буде складніше.

Конструкція з зустрічним напрямком подавання вершків до плазми молока матиме прогнозуємо високу якість за рахунок використання кумулятивного ефекту при зіткненні струменю вершків та потоку знежиреного молока, та як наслідок, посилення подрібнюючого ефекту.

До недоліків конструкції буде відноситись необхідність додаткових витрат енергії на створення надлишкового тиску, що буде попереджати виштовхування трубки з форсункою, що в даному випадку буде діяти як трубка Піто.

Останнім типом конструктивного рішення камери гомогенізатору з подаванням жирової фази до потоку знежиреного молока є щільний струминний гомогенізатор молока (рис. 4).

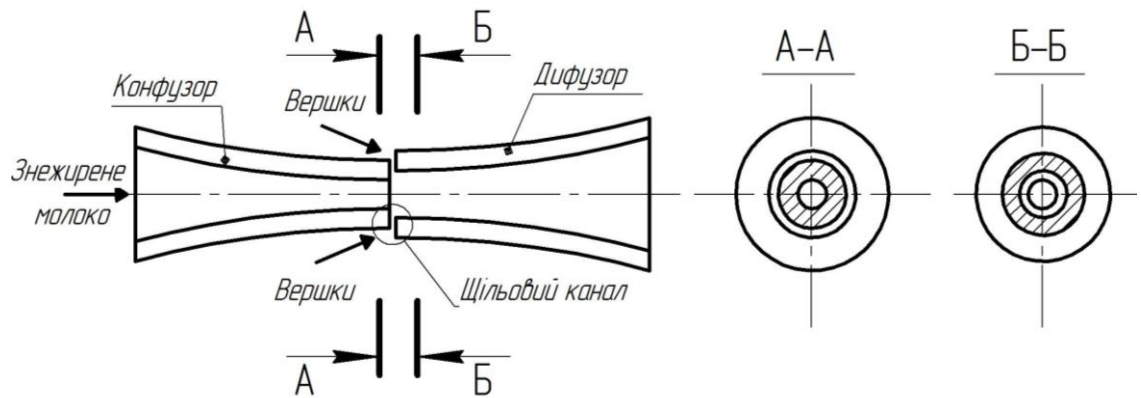


Рисунок 4 – Схема щілинного струминного гомогенізатора молока

Конструкція щілинного гомогенізатору молока може мати можливість регулювати величину щілини для підвищення якості продукту. Виконання каналів подачі вершків щілинної форми дозволяє:

- подавати жирову фазу до швидкісного потоку знежиреного молока у вигляді тонкого шару, що забезпечує більш дрібний розмір жирових кульок,
- змінювати площу щілинних каналів, що збільшить об'єм вершків, що надходять до гомогенізатору, і, отже, підвищить його продуктивність.

Знежирене молоко під тиском подається до малого діаметру конфузору, при проходженні через який його швидкість збільшується. В місці виходу з конфузору потік знежиреного молока підсмоктує до камери вершки крізь патрубков. Цей ефект досягається за рахунок створення зони зниженого тиску. В точці входження тонкого шару дисперсної фази до потоку дисперсійного середовища спостерігається висока різниця швидкостей між жировою кулькою та плазмою молока. Отже, в даному конструктивному рішенні забезпечується необхідне критичне значення критерію Вебера, необхідне для подрібнення жирової фази молока.

Даний тип гомогенізатору забезпечує високу якість диспергування часток жиру, має можливість регулювання жирності продукту. Існує теоретична можливість зробити дану конструкцію по принципу клапанної щілини, що підвищить якість кінцевого продукту. До недоліків конструкції слід віднести необхідність попереднього сепарування вершків.

Окремо необхідно відзначити конструкцію протитечійно – струминного гомогенізатору молока, в якому гомогенізація відбувається при зіткненні двох струменів молока (рис. 5).

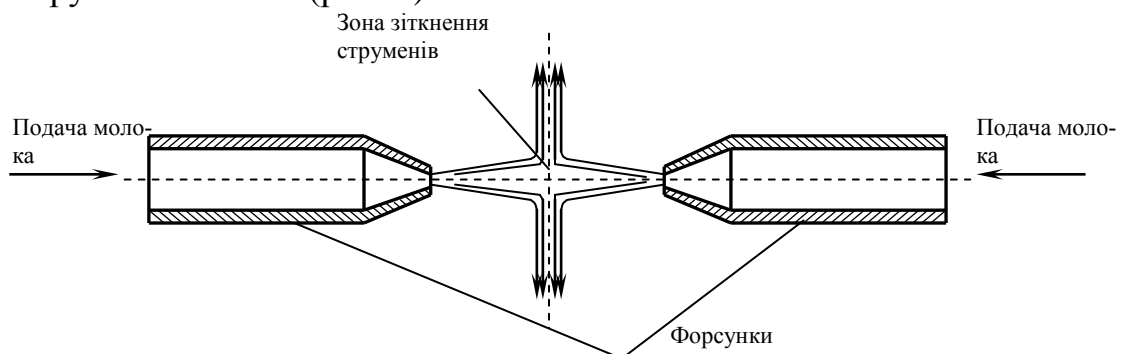


Рисунок 5 – Схема протитечійно – струминного гомогенізатора моло-

ка.

Працює даний гомогенізатор наступним чином. При зіткненні двох струменів молока, доведено, що дисперсна фаза має більшу швидкість відносно дисперсійного середовища плазми молока. Отже, при зіткненні струменів молока за рахунок кумулятивного ефекту та реалізуючи необхідну різницю швидкостей молока та вершків забезпечуються необхідні для подрібнення значення критерію Вебера.

Протитечійно – струменевий гомогенізатор був запропонований та вивчався К.О. Самойчуком, ним для даного типу гомогенізатору були отримані наступні дані (при проведенні гомогенізації в повітрі). При надлишковому тиску 4 – 6МПа досягається ступінь гомогенізації 3,5 – 4. Витрати енергії цього типу гомогенізатору дорівнюють в означеному діапазоні якості продукту 5 – 6кВт/т продукту. Згідно отриманих розрахунків при числах Вебера 500 – 600 та швидкості знежиреного молока 150 – 200 м/с розміри часток складуть приблизно 1мкм.

Оскільки жирова фаза не відокремлюється від плазми молока різниця швидкостей фаз продукту буде невеликою, що можна віднести до недоліків конструкції. Інші конструкції струминних гомогенізаторів молока з роздільним подаванням жирової фази будуть мати перевагу над протитечійно струменевим зразком в тому, що в них не буде відбуватись дестабілізації білкової фази продукту, що приводить до утворення піни в продукті. Однак в даному гомогенізаторі є можливість проведення гомогенізації без попередньої сепарації продукту, що приведе до економії енергії та відрізняє дану конструкцію від інших розглянутих в статті.

Ще одним можливим технічним рішенням з диспергування жирової фази може стати струминний гомогенізатор молока з роздільним подаванням жирової фази в форсунках (рис. 6).

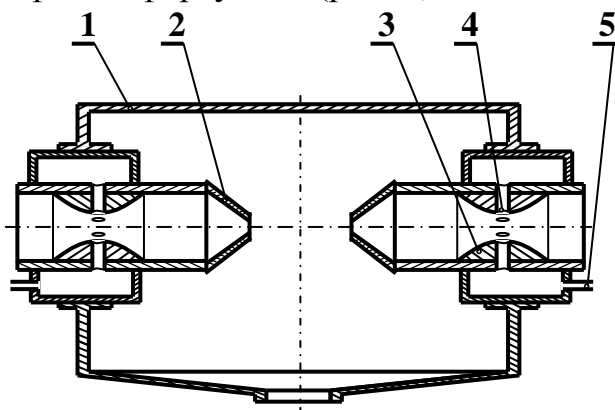


Рисунок 6 – Схема струминного гомогенізатору молока з роздільним подаванням жирової фази в форсунках

1 – корпус гомогенізатору; 2 – форсунки; 3 – кільцеве звуження форсунок; 4 – канали для ежектування вершків; 5 – отвори каналів для ежектування вершків.

Як показано на рис.6 пристрій складається з корпусу 1 та співвісно

встановлених форсунок 2, по центру яких виконано кільцеве звуження 3. В місці найбільшого звуження потоку під прямим кутом до вісі форсунок 2 крізь канали 4 ежектуються вершки крізь отвори 5. Використання форсунок такої конструкції робить можливим отримувати розрідження потоку дисперсійної фази для подальшого ежектування дисперсної фази до потоку знежиреного молока. При цьому різниця швидкостей молока та вершків досягає необхідних для диспергування значень.

До переваг конструкції слід віднести можливість проведення гомогенізації разом з нормалізацією та можливість регулювання жирності продукту. До недоліків відносяться високі енергетичні витрати для створення високої швидкості потоку знежиреного молока.

Основну роль при диспергуванні відіграє різниця швидкостей дисперсійної та дисперсної фаз продукту. Однак, подрібнення жирових кульок відбувається при взаємодії декількох одночасно протікаючих процесів. По перше, жирові кульки надходячи до швидкісного потоку знежиреного молока зі швидкістю значно меншою за швидкість потоку молока починають деформуватись за рахунок дії тангенційних напружень, значення яких збільшується за мірою наближення часток до вісі потоку. Під дією сил деформації частки спочатку приймають форму деформованого шару, потім форму тору, після чого розпадаються на множину дрібних краплин. По друге, мікропульсації рідини будуть створювати умови для зменшення розміру часток за рахунок динамічних навантажень потоку. По третє, можливе створення умов резонансу що є умовою для подрібнення від сил осциляції. В четвертих, згідно умов лабораторної установки вершки подаються поперек потоку, отже, виконується умова для можливого подрібнення крапель за відсутності зіткнення потоку молока та струменю вершків. Отже, метою статті є аналіз сил та способів диспергування жирової фази в струминному гомогенізаторі молока з роздільним подаванням жирової фази з визначенням істотності впливу на ступінь диспергування жирових кульок.

Рівняння руху жирової частки (1) для струминного гомогенізатора має вигляд.

$$m \frac{dv}{dt} = \bar{F}_o + \bar{F}_i + \bar{F}_i + \bar{F}_\delta . \quad (1)$$

В наведеному рівнянні \bar{F}_o сил опору, \bar{F}_n – дію сил приєднаної маси, \bar{F}_i – сил інерції, \bar{F}_m – дію сил турбофорезу.

При турбулентному режимі додаткові до основного збудження руху часток, що виникають при цьому підтримують проявлення інерції рідини та нівелюються силами в'язкості. При підвищенні тиску диспергування теоретично обґрунтованих та необхідних для подрібнення часток від 3 до 9 МПа відбувається збільшення швидкості основного руху рідини, що призводить до розвитку збудженого руху часток. Турбулентну течію можна розкласти на власний осереднений рух та пульсаційні утворення, накладенні на осереднений рух та отримати наступний вираз для швидкості та тиску

$$u = \bar{u}_i + u_i', \quad v = \bar{v}_i + v_i', \quad \omega = \bar{\omega}_i + \omega_i', \quad p = \bar{p}_i + p_i', \quad (2)$$

де $\bar{u}_i, \bar{v}_i, \bar{\omega}_i, \bar{p}_i$ – i -та компонента осередненої швидкості в напрямку вісей x, y, z та тиску.

$u'_i, v'_i, \omega'_i, p'_i$ – i -та компонента пульсаційної швидкості в напрямку вісей x, y, z та тиску.

Потік вище межі граничного шару має постійну осереднену швидкість u , вихори рухаються в межах шару за хаотичних коливань місцевих швидкостей порядку частини u . Найбільший розмір вихору l приблизно дорівнює товщині граничного шару який обчислюється за формулою (3).

$$\delta \sim \sqrt{\frac{\mu_{nl} \cdot l_3}{\rho_{nl} \cdot \nu}}, \quad (3)$$

де ν – кінематична в'язкість молока, Па·с;

ρ_{nl} – густина плазми, кг/м³,

μ_{nl} – динамічна в'язкість молока, П;

l_3 – шлях змішування, м.

$$l_3 = ka, \quad (4)$$

де k – універсальний коефіцієнт пропорційності, що не залежить від числа Рейнольдса $k \approx 0,39$;

a – діаметр (ширина) потоку в місці найбільшого звуження, згідно результатів проведеного моделювання його раціональне значення складає 1мм (рис.1).

Згідно формул (3) та (4) $\delta = 6,2 \cdot 10^{-4}$, $l_3 = 3,9 \cdot 10^{-4}$ м.

Досліди Г.Райнхардта показали, що поперечні пульсації змінюються за шириною каналу порівняно мало та складають біля 4% від середньої швидкості потоку u , що складає 1,65м/с, повздовжні пульсації мають в безпосередній близькості від стінок різко виражений максимум, що дорівнює $0,13u$, тобто 5,4м/с. Середня швидкість молока визначається за формулою

$$u = \sqrt{\frac{17,8 \cdot \sigma}{d_k \cdot \rho_{nl}}}, \quad (5)$$

де σ – поверхневий натяг на границі жир-плазма, Н/м;

d_k – діаметр жирової кульки до початку подрібнення $d_k = 3 \cdot 10^{-6}$ м;

Досліджуючи рух крапель в турбулентному потоці Колмогоров висунув припущення, що диспергування відбувається внаслідок деформації крапель під дією динамічних напорів дисперсійного середовища, які перевищують сили між фазного натягу.

$$\frac{C \cdot \rho_{nl} \cdot \Delta u_y^2}{2} \geq \frac{4\sigma}{d_k}, \quad (6)$$

де C – коефіцієнт пропорційності, наближений до одиниці;

Δu_y – різниця швидкостей суцільної середи, що діють на відстані y , м/с;

За великих значень числа Рейнольдса на потік діють турбулентні пульсації першого порядку i_1 , які здійснюють переміщення та перемішування об'ємів рідини з середньою швидкістю потоку $u = 41$ м/с. Сутність теорії Колмогорова – Обухова в наступному, оскільки пульсації першого порядку є нестійкими на них накладаються пульсації другого та менших порядків з мен-

шим масштабом, що буде відбуватись до моменту коли в'язкість рідини буде попереджати утворення пульсацій i_1+1 порядку.

За абсолютною величиною Δu_y можна порівняти з пульсаційною складовою швидкості u' , що дуже часто коливається від діапазону значень середньої швидкості в межах $\pm 30\%$. Пульсаційні швидкості змінюються вздовж та поперек потоку та можуть набувати позитивних та від'ємних значень. Відхилення від середньої швидкості за різних значень тиску дорівнює від приблизно 13 м/с до 29 м/с. При цьому значення нерівності за формулою (6) дорівнює $6695 \geq 133333$ та $14935 \geq 133333$ не відповідають дійсності. Отже, вищенаведене рівняння описує умови подрібнення краплі при впливу на неї динамічних напорів в пристінних шарах рідини. Об'єм пристінних шарів є невеликим, тому головна маса крапель подрібнюється в турбулентному ядрі поток. Отже, руйнування за механізмом Колмогорова – Обухова суттєвого впливу не оказує.

Під дією періодично змінного напору динамічної середі, що виникає внаслідок турбулентних пульсацій, збуджується осциляція крапель, що також може бути причиною їх подрібнення. З теорії коливань відомо, що кінетична енергія осциляції залежить по – перше, від співвідношення частоти збуджуючої сили та власної частоти коливань системи; по – друге, від величини в'язкого демпфування.

Власна частота коливань краплі дорівнює

$$\omega_k = \omega_k^* \sqrt{1 - \delta_3}, \quad (7)$$

де ω_k^* – частота гармонійних коливань краплі;

δ_3 – декремент затухання, що характеризує в'язке демпфування краплі.

Для частоти гармонійних коливань краплі Лемб отримав рівняння підтвержене експериментальними даними

$$\omega_k^* = 14 \left(\frac{\sigma}{(3\rho_{жс} + 2\rho_{пл}) \cdot d_k^3} \right)^{0.5}, \quad (8)$$

де $\rho_{жс}$ – густина вершків, кг/м^3 .

Безрозмірний декремент затухання для випадку осциляції рідкої краплі

$$\delta_3 = \frac{1,62 \cdot (v_{жс} + 2v_{пл})}{\sqrt{\sigma \cdot d_k (3\rho_{жс} + 2\rho_{пл})}}, \quad (9)$$

де $v_{жс}, v_{пл}$ – відповідно кінематична в'язкість вершків та плазми, для рідин з невеликою в'язкістю декремент затухання не перевищує $\delta_3 \leq 0,5$.

Характерна частота турбулентних пульсацій в потоці суцільного середовища

$$\omega_m = 2\pi \sqrt{\frac{\Delta u^2}{d_k}}. \quad (10)$$

При співпаданні частоти вимушуючої сили з частотою коливань краплі вступає в силу явище резонансу $\omega_k = \omega_m$, коли енергія осциляцій та амплітуда коливань зростають до дуже великих значень.

Згідно формул (7 – 10) $\omega_k^* = 9023047$; $\delta_s = 1,43$; $\omega_k = 5916807$; характерна частота пульсацій краплі ω_m в залежності від значення Δu буде знаходитись в межах 47135 – 105147. Отримані дані свідчать про те, що осциляція в процесі присутня, але вирішального впливу, який би відбувся за досягнення резонансу не дає.

Розглянемо можливе подрібнення жирових кульок в умовах відсутності збудження тиску при співпадінні характерного часу деформації крапель та періоду власних коливань з часом перебування часток в зоні взаємодії з струменем молока. Процес подрібнення крапель за відсутності зіткнення залежить від часу знаходження крапель всередині струменю

$$\delta t = d/v_{\perp}, \quad (11)$$

де v_{\perp} – швидкість руху крапель поперек потоку плазми молока, м/с.

$$We_{\perp} = \rho_i v_{\perp}^2 d_e / \sigma < We_o = \rho_i v_i d_e / \sigma, \quad (12)$$

де ρ_m – густина молока, кг/м³ ;

v_m – швидкість потоку знежиреного молока, м/с.

При виконанні умови (12) на краплю діють П – подібні гідродинамічні сили з амплітудою We_{max} та тривалістю дії $\theta \approx \delta t$, що виконується для процесу струминної гомогенізації де значення We_{\perp} для діапазону зміни тиску коливається в діапазоні 10 – 40 а значення We_m 55 – 270.

Час миттєвого руйнування крапель розраховується

$$\tau = d_k u^{-1} (\rho_{жс} \rho_{пл})^{0,5}. \quad (13)$$

де u – відносна швидкість руху краплі до потоку знежиреного молока, $u = (v_{\perp}^2 + v_m^2)^{0,5}$.

Час миттєвого руйнування крапель, який знаходиться в діапазоні значень $2,8 - 6,5 \cdot 10^{-8}$ с та періоду власних коливань краплі, що знаходиться в межах $3,5 - 7,9 \cdot 10^{-10}$ с з часом перебування крапель в зоні подрібнення, що складає в залежності від тиску від $2,7$ до $8,4 \cdot 10^{-4}$ с свідчать про те, що руйнування крапель відбувається квазістатично та суттєво залежить від діючого навантаження (числа Вебера).

3.Обробка, аналіз одержаних результатів

Розглянуто 5 можливих конструктивних рішень подавання жирової фази, заснованих на принципі забезпечення різниці швидкостей дисперсійної та дисперсної фаз продукту. За результатами аналізу слід відзначити, що конструкція з зіткненням струменів в плазмі молока характеризуються дещо більшими витратами енергії відносно інших конструкцій заснованих на ефекті ежекції. При цьому якість продукту в цих типах конструкцій, зокрема в конструкції із зіткненням струменів, може досягати якості клапанних гомогенізаторів. Конструкції струминного гомогенізатору з роздільним подаванням жирової фази, щільного гомогенізатору та гомогенізатору з роздільним подаванням жирової фази в форсунках дозволяють регулювати жирність продук-

ту. Енергетичні витрати цих конструкцій нижче як за рахунок поєднання гомогенізації з нормалізацією так і за рахунок використання ефекту ежекції. Однак в усіх конструкціях необхідна попередня сепарація вершків. Якість продукту в цих конструкціях, зокрема в струминному гомогенізаторі з роздільним подаванням жирної фази буде незначно нижчою за конструкції з зіткненням струменів в плазмі та складатиме при надлишковому тиску знежиреного молока $3 - 4 \text{ МПа}$ $d=1,0 - 1,1 \text{ мкм}$.

Основними факторами підвищення ефективності процесу струминної гомогенізації молока з роздільним подаванням вершків є: підбір раціональних параметрів насадків для каналів подавання знежиреного молока та вершків, підтримання оптимального діапазону значень критерію Вебера, забезпечення мінімально можливих значень діаметру центрального каналу та каналу подавання вершків і зниження поверхневого натягу на межі розділу фаз, завдяки оптимізації температурного режиму процесу.

Для мінімізації енерговитрат при якості гомогенізації на рівні клапанних аналітично визначений діапазон значень критерію Вебера – $We=40 - 80$. Визначення шляху змішування, який проходять жирові частки в потоці знежиреного молока, приводять до висновку, що діаметр звуження центрального каналу у місці локалізації максимальної різниці швидкостей фаз повинен складати 1 мм та менше, виходячи з умови забезпечення високої якості продукту. Застосування коноїдального насадку для каналів подавання вершків та знежиреного молока в конструкції знизить енергетичні витрати до 30% . Збільшення діаметру каналу подавання вершків погіршує якість гомогенізації, тому його оптимальне значення становить $0,5 \text{ мм}$ та менше в межах технологічно виконуваних значень.

Перспективними шляхами підвищення ефективності струминних гомогенізаторів є: зменшення діаметру каналів подавання вершків (але цей спосіб обмежує істотний вплив облітерації тонких каналів), обрання температурних режимів для зниження поверхневого натягу на межі розділу фаз продукту, застосування насадків коноїдальної форми на патрубку подавання знежиреного молока і використанням емульгаторів

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

- 1) Самойчук К.О. Розробка лабораторного зразка струминного гомогенізатору з роздільною подачею вершків/ К.О.Самойчук, О.О.Ковальов. Праці ТДАТУ – Мелітополь: 2011 – 77 – 84с.
- 2) Самойчук К.О. Експериментальні дослідження струминного гомогенізатора з роздільним подаванням жирової фази/К.О.Самойчук, О.О.Ковальов – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2011. – Вип. 28. – С.42 – 47.
- 3) Самойчук.К.О Диспергатори заміників цільного молока/К.О.Самойчук, П.О.Серков,О.О.Ковальов// – Мелітополь Праці ТДАТУ, вип. 11 т2 стр 119 – 125
- 4) Самойчук.К.О Механізм руйнування жирових кульок у струминному гомогенізаторі з роздільним подаванням вершків /К.О.Самойчук, О.О.Ковальов// – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2013. – Вип. 30. – С.148 – 155.
- 5) Самойчук.К.О Аналітичні параметри процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків /К.О.Самойчук, О.О.Ковальов// – Одеса: ОНАХТ. – 2013. – Вип.43. – С.77 – 81.
- 6) Самойчук.К.О Теоретичні основи диспергування в струминному гомогенізаторі молока Тези доповіді/К.О.Самойчук, О.О.Ковальов// – Харків: ХДУХТ. – 2013. – Вип.. – С. – .
- 7) Самойчук.К.О Аналіз методів оцінювання якості молока/К.О.Самойчук, О.О.Ковальов, А.О.Івженко//Праці ТДАТУ, Мелітополь 2012 вип. 12 т4 стр 222 – 230.
- 8) Самойчук.К.О Аналіз сил дроблення жирових кульок в струминному гомогенізаторі/К.О.Самойчук, О.О.Ковальов//Наукові праці півд. Філіалу НАУ біоресурсів та природокористування «Кримський аграрний університет»,Симферополь 2013 Технічні науки вип.153 стр26 – 34.
- 9) Самойчук.К.О Перспективи струминного гомогенізатора молока. Тези доповіді.»Проблеми якості,стандартизації,сертифікації та метрологічного забезпечення»/К.О.Самойчук, О.О.Ковальов//Херсон 2013. Стр71 – 72.
- 10) Самойчук.К.О Струминний гомогенізатор з роздільною подачею вершків. Тези доповіді Міжнародної науково-практичної конференції/К.О.Самойчук, О.О.Ковальов// – Донецьк – Святогірськ ,стр 172 – 175.
- 11)Пат. 94041, Україна, МКИ⁵ А01J 11/00. Струминний гомогенізатор молока з роздільною подачею вершків /Самойчук К.О., Ковальов О.О., Ялпачик Ф.Ю. ; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u201405239 ; заявл. 19.05.2014; опубл. 27.10.2014. Бюл. № 20.
- 12)Пат. 94048, Україна, МКИ⁵ А01J 11/00. Спосіб гомогенізації та нормалізації молока /Самойчук К.О., Ковальов О.О., Ялпачик Ф.Ю.; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u201405343 ; заявл. 19.05.2014; опубл. 27.10.2014. Бюл. № 20.
- 13)Самойчук К.О. Теоретичні основи диспергування в струминному гомогенізаторі молока/ К.О.Самойчук, О.О.Ковальов// Тези доповідей Між-

народної науково-практичної конференції, присвяченої 75-річчю з дня народження ректора університету (1988-1991рр.), д.т.н., проф., член-кореспондента ВАСГНІЛ Беляєва М.І. «Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг» 19 листопада 2013 року – Харків, 2013, Частина I. – с.382 – 384.

14)Самойчук К.О. Використання нормалізації у струминному гомогенізаторі молока з роздільною подачею вершків / К.О. Самойчук, О.О. Ковальов// Праці ТДАТУ.: Мелітополь – 2014. – Вип.14, Т.1. – С. 37-45.

15)Самойчук К.О. Якість та енергетична ефективність процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків /К.О.Самойчук, О.О.Ковальов, В.О.Султанова // Праці ТДАТУ – Мелітополь: 2015. – Вип15. – Том1.С 241 – 249.

16) Самойчук К.О. Обґрунтування гідродинамічних параметрів процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків / К.О. Самойчук , О.О. Ковальов // Наукові праці ОНАХТ: Одеса – 2014. – Вип. 46, Т.2 – С. 314 – 319.

17)Самойчук К.О. Підвищення ефективності струминного гомогенізатору молока з роздільною подачею вершків / К.О.Самойчук , О.О. Ковальов //Збірник праць 5-ї науково – практичної конференції «Інноваційні енерготехнології»:Одеса – 2015. С 246 – 252.

18)Самойчук К.О. Обоснование основных параметров струйного гомогенизатора молока /К.О. Самойчук, А.А. Ковалев, Н.А. Палянычка // Международный научный институт «Educatio»: Новосибирск – 2015 №9, Ч1. С114 – 118.

19)Самойчук К.О. Струминний гомогенізатор – нормалізатор молока / К.О. Самойчук, О.О. Ковальов //Тези доповідей міжнародної конференції «Innovative Aspects in Food and Hospitality Industry Equipment Development Under Present Conditions» 9 – 11 вересня 2015р Харків – Мелітополь – Кирилівка.

20) Пат. 106522, Україна, МКИ5 А01J 11/16. Струминний гомогенізатор молока з роздільною подачею вершків/ Самойчук К.О., Дейниченко Г.В., Ковальов О.О.; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u201511244 ; заявл. 16.11.15; опубл. 25.04.2016. Бюл. № 8.

Розділ 3.3. Оптимізація параметрів струминного змішування напоїв

Програма досліджень на 2016 р.

1. Методика досліджень
2. Теоретичне та експериментальне дослідження струминного змішування напоїв
3. Обробка, аналіз одержаних результатів

РЕФЕРАТ

Об'єкт дослідження – процес струминного змішування рідких харчових продуктів.

Предмет дослідження – вплив параметрів і режимів роботи струминного змішувача на ефективність та енерговитрати змішування.

Мета роботи – визначення оптимальних параметрів струминного змішувача води та сиропу для зниження енерговитрат та підвищення якості змішування рідких компонентів при виробництві солодких безалкогольних напоїв

Методи досліджень – поставлені задачі вирішувалися з використанням теоретичних методів дослідження, при проведенні яких були використанні сучасні моделі процесу змішування, руху потоку по змішувачу з урахуванням елементів вищої математики, фізики дискретних середовищ, теоретичної механіки, та математичної статистики. Експериментальні дослідження проводили в лабораторних умовах за традиційними та розробленими методиками. Процес руху потоку рідини в змішувачі вивчали за допомогою програмного комплексу ANSYS. Оптимальні технічні та конструктивні параметри струминного змішувача визначали методом математичного планування багатofакторного експерименту. Теоретичні розрахунки і статистичну обробку експериментальних даних проводили із застосуванням пакетів прикладних програм на ПЕОМ.

В результаті роботи визначено оптимальну відстань між соплами форсунок протитечійно-струминного змішувача з умови отримання найбільшої продуктивності і найвищого ступеня перемішування.

ЗМІШУВАННЯ, РІДКІ КОМПОНЕНТИ, ПРОТИТЕЧІЙНО-СТРУМИННИЙ ЗМІШУВАЧ, ПАРАМЕТРИ, ВІДСТАНЬ МІЖ ФОРСУНКАМИ, ШВИДКІСТЬ, ПРОДУКТИВНІСТЬ

ВСТУП

При виготовленні безалкогольних напоїв одним з основних процесів є процес перемішування купаного сиропу з підготовленою водою, тобто перемішування рідких компонентів. З огляду на зростаючі об'єми виробництва безалкогольних напоїв актуальними є розробка і впровадження у виробництво змішуючих апаратів, які забезпечать якісне перемішування рідких компонентів при мінімальних витратах енергії і часу.

Відомі різні способи перемішування рідин. В залежності від методу підведення енергії до перемішуваних середовищ, перемішування може бути пневматичним, інерційним, в потоці рідини, циркуляційним, механічним або струминним.

В результаті аналізу різних способів перемішування рідких компонентів струминне перемішування було виділено як найбільш доцільний спосіб, адже для досягнення одного й того ж технологічного ефекту при використанні інших способів витрачається більше часу і енергії. Ступінь і ефективність перемішування в струминних апаратах дуже високі внаслідок підведення значних потужностей до невеликого об'єму. Висока надійність струминних апаратів зумовлена відсутністю в них рухомих механізмів. Перемішування здійснюється за рахунок кінетичної енергії потоків рідин. Процес перемішування відбувається у відповідній камері, завдяки турбулентності потоків підведених рідин.

1. Методика досліджень

Експериментальні дослідження проведені в Таврійському державному агротехнологічному університеті на кафедрі ОПХВ у 2015 році. Конструкція лабораторної установки захищена патентами України на корисну модель №№ 91740 і 90011.

Дослідження проводили в лабораторних умовах за традиційними та розробленими методиками. Процес руху потоків рідини у змішувачі вивчали за допомогою програмного комплексу ANSYS. Оптимальні технічні та конструктивні параметри струминного змішувача визначали методом математичного планування багатофакторного експерименту. Теоретичні розрахунки і статистичну обробку експериментальних даних проводили із застосуванням пакетів прикладних програм на ПЕОМ.

Теоретичні дослідження проводились з використанням сучасних моделей процесу змішування, руху потоку по змішувачу з урахуванням елементів вищої математики, фізики дискретних середовищ, теоретичної механіки, та математичної статистики. Аналітичні дослідження базувались на теорії процесів переносу у зустрічних струменях. Теоретичні залежності базувалися на класичних залежностях гідродинаміки.

Експериментальні дослідження проводилися за такою методикою: у якості основи виступає водопровідна вода ГОСТ 2874-82 температурою 20°C (290°K) і щільністю 1000 кг/м^3 . Вода подається в ежектор під тиском $0,2\text{МПа}$. При проходженні крізь ежектор кінетична енергія потоку води підвищується, а потенційна знижується до створення розрідження, що досягає максимального значення у місці найбільшого звуження потоку, тобто на виході з ежектора. В камеру вводу підмішуваного компоненту підводився купажний сироп «Лимонад» температурою 20°C (290°K) і щільністю 1147 кг/м^3 під атмосферним тиском. При проходженні струменя води крізь камеру вводу підмішуваного компоненту у потік води ежектуються купажний сироп. При проходженні струменя крізь форсунку відбувається попереднє змішування води з сиропом, а при зіткненні струменів відбувається остаточне змішування рідких компонентів.

Для проведення експериментальних досліджень була виготовлена експериментальна установка, загальний вид якої показані на рис. 1.

Більш детально лабораторна установка показана на рис. 2. – на станині 1, встановлено камеру змішування 2, в якій співвісно встановлені дві ідентичні форсунки 5, через патрубки подачі основного компоненту 3 у форсунки 5 під тиском подається підготовлена вода, через патрубки подачі підмішуваного компоненту 4 подається купажний сироп при атмосферному тиску подачі. Змішаний продукт через вихідний отвір 6 відводиться у збірник.

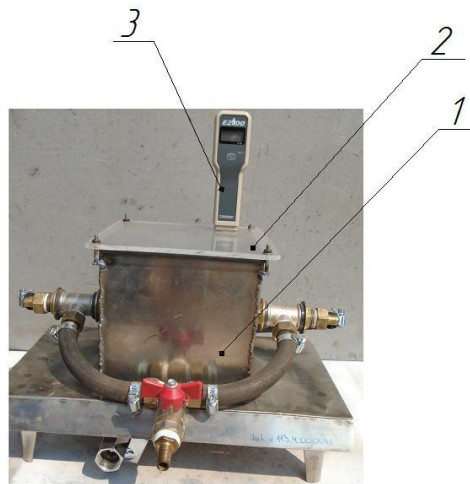


Рис. 1. Загальний вид лабораторної установки для дослідження процесу змішування. 1 – змішувач; 2 – прозора кришка; 3 – кондуктометр.

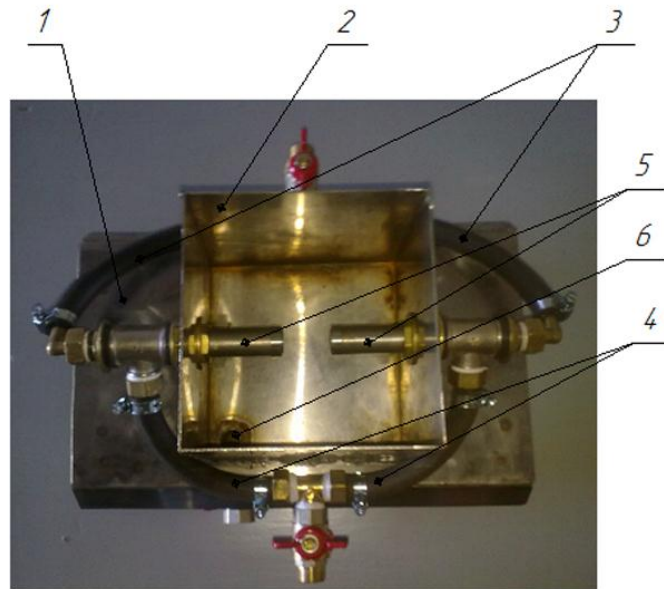


Рис. 2. Лабораторна установка для дослідження процесу змішування. 1 – станина; 2 – камера змішування; 3 – подача основного компонента; 4 – подача підмішуваного компонента; 5 – форсунка; 6 – вихідний отвір.

Візуальний контроль здійснюється крізь прозору кришку змішувача рис. 3.

Рис. 3. Процес змішування у протитечійному змішувачі.

Вивчення впливу технологічних й кінематичних параметрів на процес змішування, проводилося на описаній лабораторній установці.

Основними факторами, що визначають процес перемішування є швидкість руху потоків, турбулентність, кінетична енергія турбулентності і величина її дисипації.

Через те, що встановлення необхідних фізичних величин в лабораторних умовах є дуже проблематичним, а при отриманні деяких даних зовсім неможливим, ми застосували симуляцію процесу в програмному комплексі ANSYS.

Якість змішування залежить від таких факторів, як конструкція змішувача, інтенсивність змішування, якість перемішуваних рідин та інш. і визначає в подальшому якість вихідного продукту. Основними критеріями, які визначають процес перемішування, є число Рейнольдса, турбулентність, кінетична енергія турбулентності та величина її дисипації за площею зіткнення струменів [2].

2. Теоретичне та експериментальне дослідження струминного змішування напоїв

На описаній лабораторній установці досліджувався вплив технологічних і кінематичних параметрів на процес змішування.

З умови отримання високого ступеня змішування рідини швидкість у момент зіткнення повинна бути максимальною. На підставі аналізу математичних залежностей і результатів моделювання процесу струминного змішування у програмному комплексі ANSYS [4] було визначено, що максимальна якість змішування досягається при $a=d_c$.

З огляду на результати аналітичних досліджень для проведення пошукового експерименту були визначені такі межі варіювання факторів:

- відстань між соплами форсунок (нижня межа 4 мм, верхня – 8 мм, крок зміни фактору – 2 мм),
- тиск подачі води (нижня межа 1,2 атм, верхня – 3,6 атм, крок зміни фактору – 1,2 атм),
- рівень купажного сиропу відносно осі форсунок (нижня межа 200 мм, верхня – 400 мм, крок зміни фактора – 100 мм).

Експериментальні дослідження проводилися за такою методикою: основа, якою виступає водопровідна вода ГОСТ 2874-82 температурою 20° С (290° К) і щільністю 1000 кг/м³, подається в ежектор під тиском. При проходженні крізь ежектор кінетична енергія потоку води підвищується, а потенційна знижується до створення розрідження, що досягає максимального значення у місці найбільшого звуження потоку, тобто на виході з ежектора. У камеру вводу підмішуваного компонента підводився купажний сироп «Лимонад» на основі підсолоджувача аспартам температурою 20° С (290° К) і щільністю 1050 кг/м³ під атмосферним тиском. При проходженні струменя води крізь камеру вводу підмішуваного компонента, у потік води ежектуються купажний сироп. При проходженні струменя крізь форсунку відбувається

попереднє змішування основного компонента з підмішуваним, а при зіткненні струменів відбувається остаточне змішування рідких компонентів. Розмір камери уводу підмішуваного компонента в обох форсунках встановлено постійним. Визначення концентрації купажного сиропу в змішаному розчині визначалась за допомогою рН-міру Checker (виробник Hanna Instruments).

Відстань між соплами форсунок змінювали осьовим переміщенням форсунок у напрямних втулках.

Тиск подачі води змінювали за допомогою вихрового насоса (виробник KENLE, $H_{\max}=50\text{м}$, $Q_{\max}=50\text{л/хв}$), контроль тиску подачі води в змішувач здійснювали за допомогою манометра (ГОСТ 2405 – 88 межі вимірювання – до 6 атм).

Змінювали напір купажного сиропу при подачі його в камеру підводу підмішуваного компонента зміною висоти ємності з купажним сиропом відносно осі форсунок змішувача.

У результаті проведення пошукового експерименту отримані такі залежності.

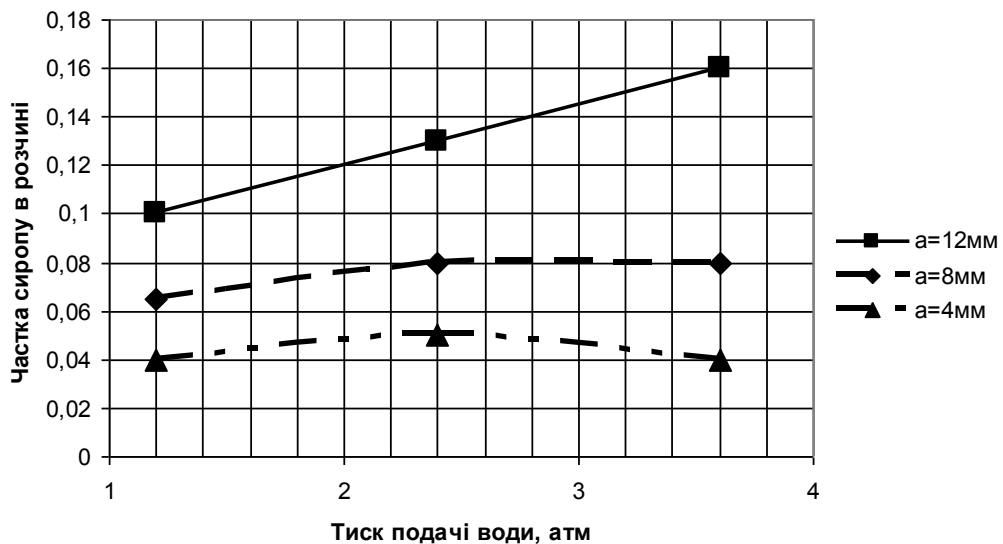


Рис. 4. Залежність частки сиропу в змішаному розчині від тиску подачі води при різних значеннях відстані між соплами форсунок a , мм. Напір купажного сиропу 0,3 м.

Аналізуючи отримані залежності, можна сказати, що при напорі купажного сиропу 0,3 м відбувається наступне: при відстані між соплами форсунок 4 мм (відстань дорівнює діаметру сопла) частка купажного сиропу в розчині змінюється у межах від 0,04 до 0,05, при чому, спочатку при зростанні тиску від 1,2 до 2,4 атм концентрація сиропу в розчині зростає, а при подальшому зростанні тиску – знижується до значення 0,04. При відстані між форсунками 8 мм (відстань дорівнює двом діаметрам сопла форсунки) із зростанням тиску концентрація сиропу в розчині зростає від 0,065 (при тиску 1,2 атм) до 0,08 (при тиску 2,4 атм) і у подальшому із зростанням тиску залишається незмінною. При відстані між форсунками 12 мм (відстань дорівнює трьом діаметрам сопла форсунки) із зростанням тиску концентрація сиропу в

розчині зростає майже лінійно від 0,1 (при тиску 1,2атм) до 0,16 (при тиску 3,6атм).

При напорі купажного сиропу 0,4м отримали такі залежності: при відстані між соплами форсунок 4 мм із зростанням тиску концентрація сиропу в розчині зростає від 0,05 (при тиску 1,2атм) до 0,8 (при тиску 2,4атм) і у подальшому із зростанням тиску залишається незмінною. При відстані між форсунками 8мм і 12мм залежність концентрації сиропу у розчині від тиску подачі води має майже лінійний характер, із зростанням тиску зростає концентрація. При відстані 8мм концентрація сиропу змінюється у межах від 0,08 (при тиску 1,2атм) до 0,15 (при тиску 3,6атм). При відстані між соплами форсунок 12мм – від 0,1 (при тиску 1,2атм) до 0,25 (при тиску 3,6атм).

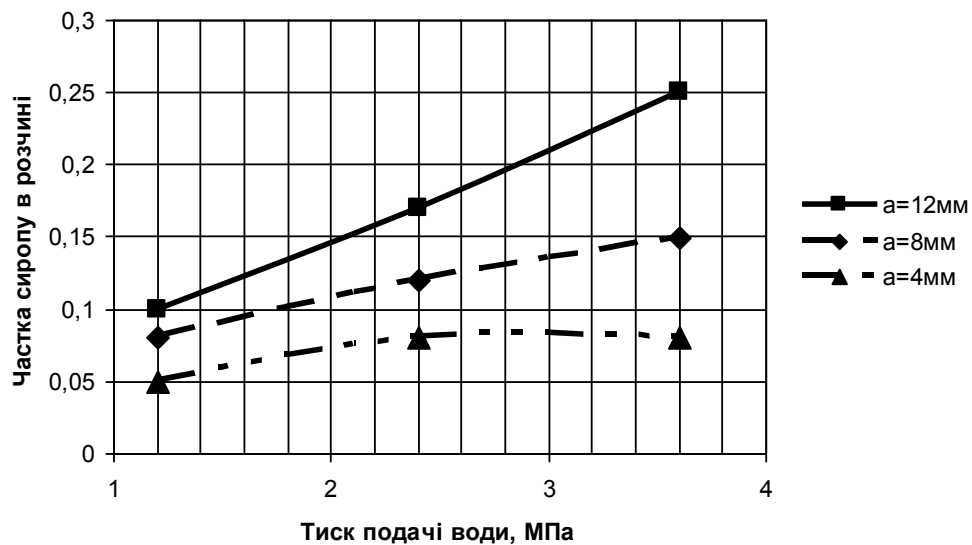


Рис. 5. Залежність частки сиропу в змішаному розчині від тиску подачі води при різних значеннях відстані між соплами форсунок. Напір купажного сиропу 0,4м.

За отриманими залежностями можна відзначити, що із зменшенням відстані між форсунками від 12 мм (що дорівнює трьом діаметрам сопла форсунки $a=3d_c$) до 4 мм (тобто $a=d_c$) частка сиропу у змішаному розчині зменшується. Це відбувається внаслідок того, що на струмінь рідини, яка витікає із сопла форсунки, діє зустрічний струмінь. Тиск, який виникає у зоні зіткнення струменів, призводить до того, що рідина основного потоку (вода) не захоплює достатньої кількості підмішуваного компонента (купажного сиропу), а при рівні купажного сиропу відносно осі форсунок менше або рівному 200мм, взагалі, відбувається потрапляння рідини основного потоку у кільцеву щілину подачі підмішуваного компонента і далі у гідропровід подачі купажного сиропу.

При відстані між соплами форсунок 12мм ($a=3d_c$), тиску подачі води 0,36 МПа, напорі купажного сиропу 0,4м отримали частку сиропу у змішаному розчині 0,25, що є позитивним результатом, так як за технологічною інструкцією виготовлення безалкогольного напою «Лимонад» купажний сироп

повинен змішуватись з водою у пропорції 1:4.

3. Обробка, аналіз одержаних результатів

Одним з найважливіших конструктивних параметрів, що впливає на забезпечення потрібної концентрації підмішуваного компонента і якість перемішування, є відстань між соплами форсунок. У результаті проведення пошукового експерименту було виявлено, що при відстані між форсунками, рівній діаметру сопла форсунки, частка купажного сиропу у готовому розчині зменшується із збільшенням тиску подачі основного компонента – води. Незалежно від напору подачі купажного сиропу, із збільшенням відстані між форсунками від $a=d_c$ до $a=3d_c$ частка сиропу у змішаному розчині збільшується.

Аналіз результатів пошукового експерименту дозволив встановити оптимальний діапазон варіювання факторів основного експерименту: тиск подачі основного компонента (води) 3 – 5атм; напір подачі підмішуваного компонента (купажного сиропу) 0,3 – 0,5м; відстань між соплами форсунок 10 – 20мм.

У подальших дослідженнях планується дослідити оптимальне співвідношення площі кільцевої щілини, вплив початкового діаметра струменя основного компонента і діаметра сопла форсунки та відстані між соплами форсунок у протитечійно-струминному змішувачі.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Самойчук К.О. Аналитические исследования противоточноструйного смесителя жидкостей / К.О. Самойчук, О.В. Полудненко, А.А.Бездитный // Труды Международного Научного Института «Educatio»: материалы VII международной научно-практической конференции/ Educatio; Новосибирск, 2014 – Вып. 7 ч. 3 с. 65 – 68
2. Самойчук К.О. Визначення відстані між соплами форсунок протічно-струминного змішувача безалкогольних напоїв/К.О.Самойчук, О.В. Полудненко//Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наук. фах. видання/ ТДАТУ; Мелітополь, 2015 – Вип.15 т.1 с. 30 - 38
3. Пат. 90011, Україна, МКИ⁵ А01J 11/00. Спосіб змішування рідких компонентів /Самойчук К.О., Полудненко О.В.; заявитель и патентообладатель Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u 201313938 ; заявл. 02.12.2013; опубл. 12.05.2014. Бюл. № 9.
4. Пат. 91740, Україна, МКИ⁵ А01J 11/00. Пристрій для струминного змішування рідких компонентів /Самойчук К.О., Полудненко О.В.; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u201402154 ; заявл. 03.03.2014; опубл. 10.07.2014. Бюл. № 13.
5. Самойчук К.О. Результати аналізу конструкцій струминних змішувачів рідких компонентів / К.О. Самойчук, О.В. Полудненко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – Вип. 13, Т.1. – С. 205-211.
6. Самойчук К.О. «Обоснование конструкции смесителя жидких компонентов с помощью компьютерного моделирования»/ К.О. Самойчук , О.В. Полудненко // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сборник научных статей. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. Аграрного у-та, 2013. – 140с. С. 86 – 92.
7. Самойчук К.О. Результати комп'ютерного моделювання процесу змішування рідких компонентів у струминному змішувачі / К.О. Самойчук, О.В. Полудненко // Обладнання та технології харчових виробництв : Донецьк – 2013.– Вип. 30. – С. 300-305.
8. Обґрунтування конструкції змішувача рідких компонентів за допомогою комп'ютерного моделювання/ К.О.Самойчук, О.В.Полудненко // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 75-річчю з дня народження ректора університету (1988-1991рр.), д.т.н., проф., член-кореспондента ВАСГНІЛ Беляєва М.І. «Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг»19 листопада 2013 року – Харків, 2013, Частина І. – с.384 – 386.
9. Циб В.Г. Аналіз методів оцінювання якості змішування рідких компонентів при виробництві безалкогольних напоїв/В.Г.Циб, О.В. Полудненко, Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наук. фах. видання/ ТДАТУ; Мелітополь, 2014 – Вип.14 т.1 с. 7 –12.
10. Полудненко О.В. Результати пошукового експерименту проти-

течійно-струминного змішування безалкогольних напоїв /О.В. Полудненко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь: ТДАТУ. - 2016. – Вип. 16., Т.1. - С. 261 – 268.

11. Самойчук К.О. Визначення вмісту цукрового сиропу при змішуванні у протитечійно-струминному апараті/ К.О. Самойчук, В.В. Паніна, О.В. Полудненко // Збірник праць XVI Міжнародної наукової конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв» - Одеса: ОНАХТ – 2016. – С. 327 – 334.

12. Дейниченко Г.В. Визначення оптимальної відстані між соплами форсунок протитечійно-струминного змішувача безалкогольних напоїв/ Г.В. Дейниченко, К.О. Самойчук, О.В. Полудненко // Тези Міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність» 19 травня 2016 р. – Харків, ХДУХТ. – 2016. – С. 276–278.