

### Література

1. Верхівкер Я.Г. Стерилізаційне обладнання консервної промисловості та його енергетичний аналіз / Я.Г. Верхівкер. – К.: НМК ВО, 1991. – 56 с.
2. Наместников А.Ф. Консервирование плодов и овощей в колхозах и совхозах / А.Ф. Наместников. – М.: Россельхозиздат, 1983. – 189 с.
3. Патент Российской Федерации № 2288259, МКИ С11В 9/00, С11В 9/02, F22В 11/00. Автоклавный парообразователь / заявитель и патентообладатель Ю.П. Благодаров. – заявка № 2005104652/13; заявл. 21.02.2005; опубл. 10.08.2006.
4. Патент України № 279, МПК В01J 3/04, А23L 3/10. Автоклав / П.І. Колінчук, С.П. Колінчук; власник колективне підприємство Центр ділового та наукового співробітництва «Колін». – заявка № 98041944; заявл. 25.12.1998; опубл. 25.12.1998, Бюл. № 6.
5. Патент України № 59636. МПК В01J 3/00. Установа для баротермічної обробки харчової сировини / Коц І.В., Цуркан О.В., Міщук Т.О.; власник Вінницький національний аграрний університет. – заявка № 201012947; заявл. 01.11.2010; опубл. 25.05.2011, Бюл. № 10.

УДК 637.134

## ОБҐРУНТУВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ СТРУМИННОЇ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОКА З РОЗДІЛЬНОЮ ПОДАЧЕЮ ВЕРШКІВ

Самойчук К.О., канд. техн. наук, доцент, Ковальов О.О., інженер  
Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь

*У статті шляхом аналітичних досліджень обґрунтовані гідродинамічні та якісні показники процесу гомогенізації молока в струминному гомогенізаторі з роздільною подачею вершків.*

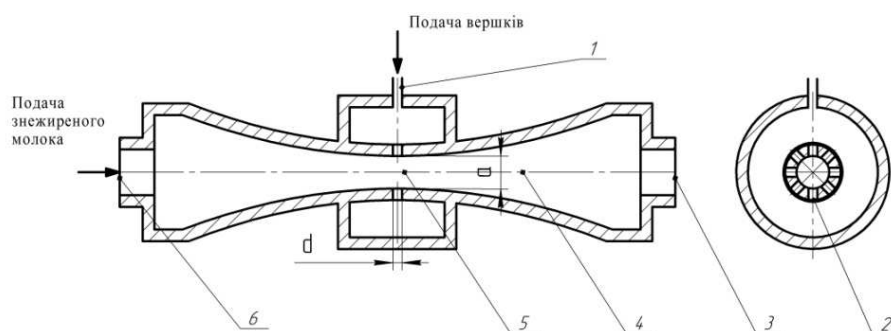
*The article defines the way of analytic investigation hydrodynamic and quality parameters of the process jet-mixing homogenization of milk with the separated giving of creams.*

Ключові слова: аналітичні дослідження, струминна гомогенізація, ступінь гомогенізації, процес.

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Гомогенізація є одним із найбільш енергетично витратних серед нормативних процесів, що входять до складу головних технологічних операцій з виробництва та переробці молока і молочних продуктів. Одним із рішень щодо зниження енергоємності процесу переробки молока є процес роздільної гомогенізації. За даного виду гомогенізації можливе проведення гомогенізації одночасно з нормалізацією в потоці, регулюючи вміст вершків. Це суттєво знижує енерговитрати процесу. Іншим завданням процесу є отримання подрібнених жирових кульок із якомога меншими розмірами. Бажано, щоб розмір жирових кульок наближувався до розміру хіломікронів (близько 0,4 мкм), які за рахунок своїх невеликих розмірів добре засвоюються організмом людини. Конструкція струминного гомогенізатора передбачає подавання вершків тонким струменем, що створює добрі гідродинамічні умови для руйнування жирових кульок.

Струминний гомогенізатор молока з роздільною подачею вершків працює таким чином [1]. До подачі у пристрій молоко розділяється на знежирене молоко та вершки. Потік знежиреного молока через патрубок подачі 6 під тиском надходить до місця найбільшого звуження 5 центрального каналу 4, де набуває максимальної швидкості (рис. 1). До потоку, крізь канали подачі жирової фази 2, подаються вершки через патрубок 1. Молоко з диспергованими жировими частками відводиться крізь патрубок 3. Під час входження струменя вершків до потоку знежиреного молока, створюються великі градієнти швидкості, за рахунок числа Рейнольдса встановлюється режим розвиненої турбулентності, що викликає значні тангенційні напруження. Ці напруження, за твердженням Хінце, пов'язані з критерієм Вебера, що обумовлює подрібнення часток, а отже, процес гомогенізації [2].

**Постановка завдання.** На даний час не існує визнаної єдиною теорії диспергації жирових кульок молока при гомогенізації. Серед причин цього ускладненість спостереження процесу руйнування жирової фази як результат високих швидкостей її руху та малих розмірів. Теоретичні уявлення щодо процесу гомогенізації містять багато суперечностей, нерідко парадоксів, та не є загальними, такими що вичерпно пояснюють теорію процесу. Тому важливими є теоретичні дослідження процесу струминної гомогенізації, які дадуть змогу обґрунтувати раціональні гідродинамічні параметри гомогенізатору [3,4].



1 – патрубок подачі вершків; 2 – канал подавання жирової фази;  
3 – патрубок для відведення гомогенізованого молока; 4 – центральний канал;  
5 – зона диспергування жирової фази; 6 – патрубок подачі знежиреного молока

**Рис. 1 – Схема струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків**

**Виклад основного матеріалу дослідження.** При аналізі процесів дроблення рідких сумішей у безперервному середовищі важливим фактором є стійкість краплі до дії сил, що прагнуть її зруйнувати. Якщо розглянути розподіл тисків перпендикулярних до поверхні шару, що обтікається можна виокремити відносно статичного тиску всередині рідини зони підвищеного та зниженого тиску. Лобові сили сплющують краплю, інші витягують її з боків та в передній частині та утворюється дископодібне тіло, яке згодом руйнується [4,5].

Дані щодо критичного значення числа Вебера різняться для різних середовищ та експериментів. Однак майже всі дослідники вважають головним фактором диспергування – відносну швидкість рідини та краплі. Нижня межа значень числа Вебера буде більшою для емульсій, ніж для газу, внаслідок залученості сусідніх шарів рідини, що оточують кульку та більших значень відносної швидкості. Верхня межа необхідних значень цього параметра коливається у різних дослідників до двох та трьохзначних величин, але необхідні та достатні для подрібнення значення критерію за умови енергозбереження знаходяться в межах 30-50, коли досягається або режим закритичних деформацій із утворенням тонких стрічок [6], або вибухове подрібнення з руйнуванням первинної краплі на велику кількість вторинних [4,7].

Відомо, що число Вебера як критерію подрібнення дорівнює

$$We = \frac{v_m^2 d_k \rho_{пл}}{\sigma}, \quad (1)$$

де  $v_m$  – швидкість знежиреного молока, м/с;

$d_k$  – діаметр жирової кульки стабільної в турбулентному потоці, м;

$\rho_{пл}$  – густина плазми знежиреного молока,  $\rho_m = 1035 \text{ кг/м}^3$ ;

$\sigma$  – міжфазний натяг на межі розділу фаз.

Звідси швидкість знежиреного молока, необхідна для руйнування жирової кульки

$$v_m = \sqrt{\frac{We \sigma}{d_k \rho_{пл}}}. \quad (2)$$

Швидкість знежиреного молока також можна визначити за відомою формулою

$$v_m = \varphi \sqrt{\frac{2}{\rho_{пл}} \Delta p_1}. \quad (3)$$

Звідси надлишковий тиск подавання знежиреного молока з урахуванням (2) та (3) дорівнює

$$\Delta p_1 = \frac{v_m^2 \rho_{пл}}{2\varphi^2}. \quad (4)$$

Критерій Вебера можна розрахувати незалежно від режиму руху рідини та виразити залежність  $We$  від ефекту диспергування в неявному виді

$$We = f(H_m)^m, \quad (5)$$

де  $H_m$  – ефект диспергування (ступінь подрібнення);

$m$  – показник ступеня, значення якого для диспергування при високому тиску (клапанній гомогенізації) дорівнює 1,7.

$$H_m = \frac{d_k}{d}, \quad (6)$$

де  $d$  – середній діаметр жирової кульки до диспергування та після нього, м.

Середній діаметр жирової кульки до диспергування в сирому молоці  $d_k$  за оцінками різних авторів [8] коливається у межах 2,5 – 4 мкм.

$$d_k = \frac{H_m}{d}. \quad (7)$$

Отже, враховуючи (6) виразимо  $\Delta p_1$ .

$$\Delta p_1 = \frac{We\sigma}{2\varphi^2 d_k}. \quad (8)$$

Згідно з наведеною формулою (8) та прийнятих значень  $We = 30 - 70$ ;  $\varphi = 0,85$ ; для практичних розрахунків приймаємо  $d_k = 3 \cdot 10^{-6}$  мм, при цьому надлишковий тиск у камері гомогенізатора  $\Delta p_1$  складає  $6,9 \cdot 10^5 - 1,6 \cdot 10^6$  Па. Отже, для зниження значення надлишкового тиску необхідно або знижувати поверхневий натяг на межі розділу фаз, або оптимізувати температурні режими. Іншим шляхом зниження  $\Delta p_1$  є підбір більш раціональних значень коефіцієнта швидкості  $\varphi$ . Підвищення температури до певних меж (приблизно 60 – 65 °С) знижує поверхневий натяг, що добре впливає на процес диспергування жирових кульок молока.

З отриманих виразів можна знайти ступінь гомогенізації  $H_m$

$$H_m = \frac{2\varphi^2 d_k \Delta p_1}{We\sigma}. \quad (9)$$

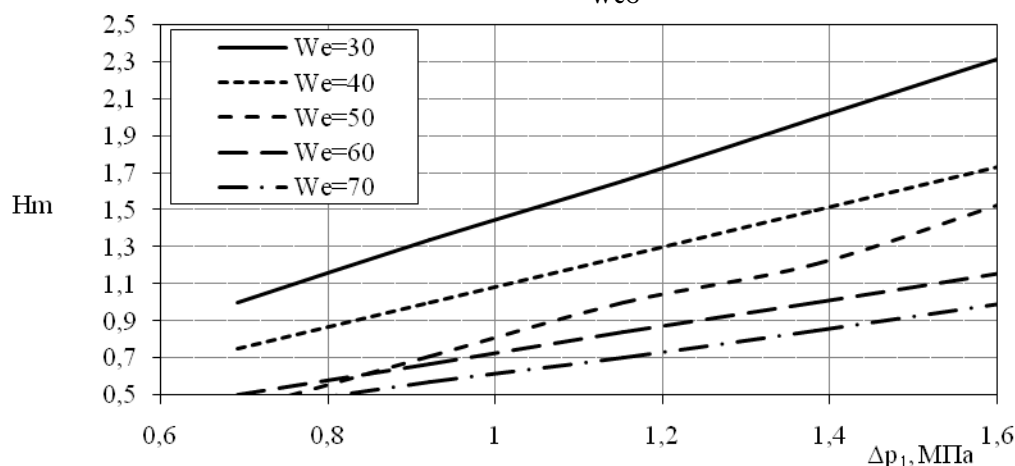


Рис. 2 – Графік залежності ступеня гомогенізації  $H_m$  від критерію Вебера  $We$  та від надлишкового тиску у камері  $\Delta p_1$

Аналізуючи дані (рис. 2), можна дійти висновку, що для забезпечення якості гомогенізації на рівні  $H_m = 2 - 4$ , більш раціональним є використання режимів роботи, що відповідають числам Вебера 30 – 40. Робота на інших режимах також можлива, але з показниками якості нижчими за технологічні вимоги.

Для визначення інших параметрів струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків необхідно визначити надлишковий тиск подачі жирової складової. Продуктивність гомогенізатора визначається кількістю молока, що проходить крізь нього за одиницю часу. Для струминного гомогенізатора продуктивність в кг/год,  $Q_g$  можна розрахувати за формулою [8]

$$Q_g = Q_v + Q_{zn}, \quad (10)$$

Жирову фазу, що подається через відповідний канал подачі, будемо розглядати як відкриту для зовнішніх впливів систему рухомих та взаємодіючих жирових крапель і суцільного середовища. Витрати крізь канал подавання жирової фази можна розглядати як витрати крізь дросель.

$$Q_{zn} = 3600\mu_1 S \rho_{nn} \sqrt{\frac{2}{\rho_{nn}} \Delta p_1}, \quad (11)$$

де  $S$  – площа перетину в місці найбільшого звуження,  $m^2$ ,

$\Delta p_1$  – надлишковий тиск у камері гомогенізатора, Па,  
 $\mu_1$  – коефіцієнт витрат, для каналу подачі знежиреного молока струминного гомогенізатора дорівнює 0,85.

$$S = \frac{\pi a^2}{4}, \quad (12)$$

де  $a$  – діаметр найбільшого звуження, м.

Продуктивність за жиром складовою дорівнює

$$Q_B = 3600\mu_2\rho_B \frac{\pi d_B^2}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho_B} \Delta p_2}, \quad (13)$$

де  $d_B$  – діаметр каналу подавання жирової фази, м;

$\Delta p_2$  – надлишковий тиск у каналі подавання жирової фази, Па;

$\mu_2$  – коефіцієнт витрат, для каналу подачі вершків струминного гомогенізатора дорівнює 0,85;

$\rho_B$  – густина вершків,  $\rho_B = 923 \text{ кг/м}^3$ .

Із наведеної формули (13) можна виразити надлишковий тиск подавання жирової фази  $\Delta p_2$

$$\Delta p_2 = 8\rho_B \left( \frac{Q_B}{3600\mu_2\rho_B \pi d_B^2} \right)^2. \quad (14)$$

У струминному гомогенізаторі зручно одночасно з гомогенізацією проводити нормалізацію продукту за жирністю. При  $J_{zn} < J_{н.м}$  для нормалізації до знежиреного молока додають вершки, кількість яких розраховують за формулою[9].

$$M_B = \frac{M_{н.с} (J_{н.с} - J_{zn})}{J_B - J_{н.с}}, \quad (15)$$

де  $M_{н.с}$ ,  $M_B$ ,  $M_{zn}$  - відповідно маса нормалізованої суміші, вершків, знежиреного молока, кг;

$J_{н.с}$ ,  $J_B$ ,  $J_{zn}$  - відповідно масова частка жиру в нормалізованій суміші, вершках, знежиреному молоці, %.

Для розробленого гомогенізатора формула (15) для визначення кількості знежиреного молока та вершків для змішування матиме вигляд

$$Q_B = \frac{Q_r (J_{н.с} - J_{zn})}{J_B - J_{н.с}}. \quad (16)$$

$$Q_{zn} = \frac{Q_c (J_B - J_{н.м})}{J_B - J_{н.м}}. \quad (17)$$

Враховуючи останню рівність і (14) визначаємо надлишковий тиск подачі жирової фази  $\Delta p_2$

$$\Delta p_2 = 8\rho_B \left( \frac{Q_r (J_{н.с} - J_{zn})}{(J_B - J_{н.с})(3600\mu_2\rho_B \pi d_B^2)} \right)^2. \quad (18)$$

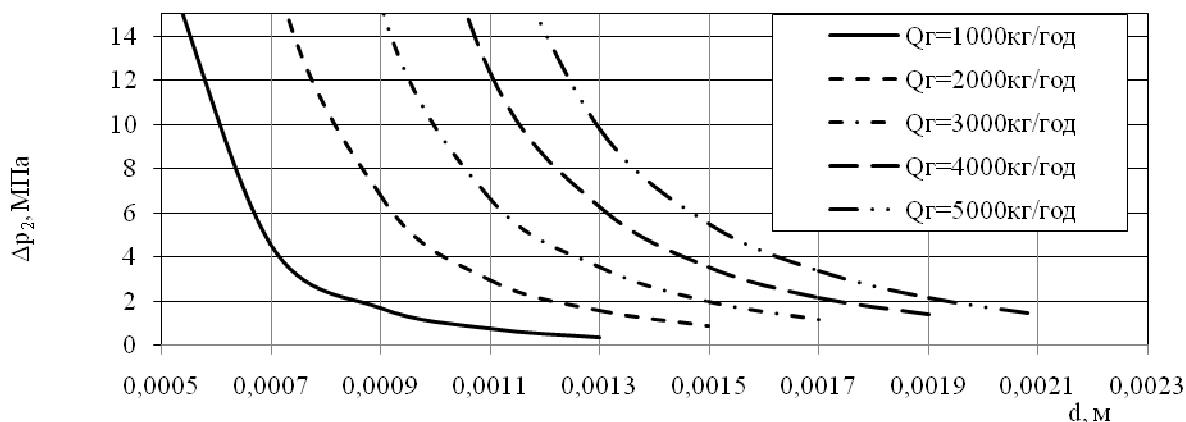


Рис. 3 – Графік залежності надлишкового тиску в каналі подавання жирової фази  $\Delta p_2$  від продуктивності гомогенізатора  $Q$  та діаметра каналу подавання жирової фази  $d$

Аналізуючи отриманий графік, можна зробити висновок, що для зменшення необхідного надлишкового тиску подавання жирової фази необхідно збільшувати діаметр отворів подачі, що негативно позначається на якості диспергування. Нижня межа значень діаметрів каналу подавання жирової фази обумовлена надвеликими значеннями надлишкових тисків, що потрібно створити для досягнення ефекту; верхня межа діаметрів каналу подачі жирової фази обумовлена тим, що надлишковий тиск у каналі подачі жирової фази не перевищує надлишковий тиск знежиреного молока, тобто процес подрібнення не буде відбуватися. В ділянці значень  $\Delta p_2 = 2 - 2,5$  МПа відзначено перегин та різке збільшення необхідного тиску, а отже, і енергії для диспергування, що зростає відповідно до зменшення діаметрів каналу подачі жирової фази.

Отже, для зменшення необхідного надлишкового тиску подавання жирової фази необхідно збільшувати коефіцієнт витрат каналу подавання жирової фази до максимально можливих та технологічно виконуваних значень.

Із формул (11), (12), (13), (16) та (17) визначимо розміри  $d$  та  $a$  для забезпечення необхідної продуктивності гомогенізатора

$$d_b = \sqrt{\frac{Q_r (J_{н.с} - J_{зн})}{900\pi\mu_2\rho_b (J_b - J_{н.с})}} \sqrt{\frac{\rho_b}{2\Delta p_2}}, \quad (19)$$

$$a = \sqrt{\frac{Q_r (J_b - J_{н.с})}{900\pi\mu_{пл}\rho_{пл} (J_b - J_{зн})}} \sqrt{\frac{\rho_{пл}}{2\Delta p_1}}. \quad (20)$$

Слід зазначити, що вказаний діаметр каналу подавання жирової фази може бути забезпечений не одним, а декількома отворами технологічно зручних діаметрів. До того ж, у цьому випадку буде відбуватися більш рівномірний вплив потоку знежиреного молока на струмись вершків і, отже, краще подрібнення жирових часток. Із наведених вище формул можна визначити загальну площу каналів подавання жирової фази та їхню кількість.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** У статті аналітично обґрунтовано межі значень числа Вебера для якісного подрібнення жирових кульок у струминному гомогенізаторі з роздільною подачею вершків. Аналітичні дослідження показали, що для досягнення якісної гомогенізації продукту  $N_m = 2 - 4$  значення необхідного надлишкового тиску подачі знежиреного молока  $\Delta p_1$  має значення 0,7–2 МПа. Значення цього тиску головним чином обумовлює питомі енерговитрати процесу гомогенізації.

Дослідження показали, що доцільним є використання залежно від необхідної продуктивності обирати якомога менший діаметр каналу подавання жирової фази, або виготовляти гомогенізатор із декількома каналами для більш рівномірного впливу на жирові кульки при подрібненні.

Порівнюючи отримані значення енерговитрат з енерговитратами клапанного гомогенізатора можна прогнозувати, що питомі енерговитрати дослідного гомогенізатора будуть в 4–5 разів меншими при однаковому рівні якості продукту. Таким чином, дослідження струминного гомогенізатора з роздільною подачею жирової фази є перспективними і для уточнення значення критичних значень критерію Вебера необхідно провести експериментальні дослідження. У подальшому планується також проведення експериментальних досліджень впливу температури на процес гомогенізації та обґрунтування раціональних значень цього параметра, як з точки зору можливості зниження поверхневого натягу, так і з точки зору збереження та покращення якості продукту.

### Література

1. Самойчук К.О. Розробка лабораторного зразка струминного гомогенізатору з роздільною подачею вершків / К.О. Самойчук, О.О. Ковальов. Праці ТДАТУ. – Мелітополь: 2011, – С. 77–84.
2. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй / Г.Н. Абрамович. – М.: Эколит, 2011, – 728 с.
3. Фиалкова Е.А. Гомогенизация. Новый взгляд. Монография-справочник / Е.А. Фиалкова – Спб.: ГИОРД, 2006. – 392 с.
4. Самойчук К.О. Аналіз сил дроблення жирових кульок в струминному гомогенізаторі / К.О. Самойчук, О.О. Ковальов // Наукові праці Південного філіалу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Кримський агротехнологічний університет» (ПФ НУБіП України «КАТУ»): Сімферополь, 2013. – Вип. 153. – С. 26–34.
5. Орешина М.Н. Импульсное диспергирование многокомпонентных пищевых систем и его аппаратная реализация: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.18.12 / Н.М. Орешина. – М.: 2010. – 50 с.
6. Бойко В.М. Динамика частиц и капель в потоке за ударной волной / В.М. Бойко // Известия РАН МЖГ. 2007. – № 3. – С. 110-120.

7. Самойчук К.О. Обґрунтування параметрів та режимів роботи протитечійно-струменевого диспергатора молока: автореф дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12. – Донецьк, 2008, – 20 с.
8. Самойчук К.О. Аналітичні параметри процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків / К.О. Самойчук, О.О. Ковальов // Наукові праці Одеської національної академії харчових виробництв. Одеса, 2013. – Вип. 43. – Т. 2, – С. 77–81.
9. Брусенцев А.А. Общие принципы переработки сырья и введение в технологию продуктов питания. / А.А. Брусенцев. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 97 с.

УДК 681.1.

## МОДЕРНІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ РУЧНОЇ МЕДОГОНКИ

Чепок В.І., канд. пед. наук, доцент, професор кафедри готельно-ресторанної справи,  
Чепок Р.І., канд. пед. наук, Носова І.О., канд. пед. наук, доцент  
Херсонський державний університет, м. Херсон

*Наведено механіку процесу ручного відкачування меду. Описано механізм, який належить до устаткування бджільництва, а саме до пристрою для відкачування меду з попередньо розпечатаних стільникових рамок. Метою дослідження є створення ручної восьмирамочної хордиальної медогонки в якій шляхом зміни конструкції ротора медогонки і конструкції касети ротора медогонки, забезпечується повнота видалення меду з рамок завдяки відцентровій силі та покращення технологічності процесу відкачування меду, оскільки рамки з касет не викидаються для видалення меду з іншої сторони.*

*It is given the mechanics of the process of manual extraction of honey. It is described the mechanism that applies to beekeeping, namely to a device for extraction of honey from the pre-sliced frames of honeycombs. The aim of the research was to create a manual chordial honeyrace with eight frames. This design ensures completeness of remove of honey from the frames due to the centrifugal force and the improvement of the technological process of the extraction of honey, since the frames of the tapes are not ejected to remove honey from the other side.*

Ключові слова: відкачування меду, ручні хордиальні медогонки, стільникові рамки, ротор медогонки, касети медогонки, відцентрова сила, продуктивність медогонки, ергономічність праці.

**Постановка проблеми.** У Херсонському державному університеті на кафедрі готельно-ресторанної справи продовжується дослідження з удосконалення споживчих властивостей непродовольчих товарів [6, 7, 8]. Об'єктом дослідження виступає процес відкачування меду з попередньо розпечатаних стільникових рамок за допомогою відцентрових медогонок. Предметом дослідження є відцентрові ручні хордиальні медогонки з максимальною кількістю рамок розміром 435x300 мм., що встановлюються в них.

Широко відомі хордиальні медогонки, як правило, виконуються ручними зусиллями, тобто джерелом енергії для виникнення відцентрової сили, необхідної для відкачування меду зі стільникових рамок, є фізична сила рук людини [1, 2, 3, 4, 5]. Серед найвідоміших розробників медогонок можна назвати Д. Грушка, Л. Лангстрота, М. Квінбі, А. Рута, Т. Уільяма, А. Джонсона та ін. [3].

Як відомо, людина середньої статури може прикласти до важеля зусилля в межах 30–40 Н. Розмір важеля ручної медогонки визначається з умов ергономічності праці і, як правило, дорівнює 250–300 мм. Звідки обчислюється максимальний крутний момент, що створюється людською рукою на медогонці – 12 Н м.

Необхідно врахувати, що мінімальна кількість обертів за хвилину ротора медогонки, достатня для відкачування меду зі стільників, повинна бути в межах 180–200 хвил.<sup>-1</sup> [1, 2, 3, 5].

Зі вказаною довжиною важеля медогонки, максимальні оберти за хвилину, які може створити людина, становлять – 60 хвил.<sup>-1</sup>. При цьому, час роботи без суттєвої втоми руки становить 3-5 хвил. Часу достатньо для відкачування меду з рамок, але обертів за хвилину не достатньо. Між ротором медогонки і важелем необхідно встановити мультиплікатор з передавальним числом не менше 1/3, що і робиться у більшості ручних медогонок з часів А. Рута (1868 р.). У такому випадку вихідний вал мультиплікатора є продовженням вала барабана медогонки, до якого прикладено крутний момент лише у 4 Н м. Досвід показує, що при середній вазі медової рамки 3 кг. та вазі самого ротора медогонки 8-10 кг., цього крутного моменту достатньо для подолання моменту протидії від ваги чотирьох рамок і ротора медогонки.

Критичною для виникнення обертового руху ротора медогонки стає ситуація при збільшенні кількості рамок до восьми штук, без зміни конструкції медогонки.