

Режими розрізання сирного згустка ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ТВЕРДИХ СИРІВ

О. САВЧЕНКО, канд. техн. наук
Л. ШЕВЧЕНКО, аспірант



Анотація. Досліджено вплив режимів розрізання сирного згустка та конструктивних особливостей різальних ножів на втрати білка і жиру під час виготовлення твердих сирів. Наведено емпіричні формули для визначення динамічної в'язкості сирного згустка та питомого зусилля його різання ножами різної конструкції.

Abstract. The effect of cutting regimes of cheese curd and design features of cutting knives and the loss of protein and fat during the manufacture of cheese

is investigated. Empirical formulas for determination of the dynamic viscosity of cheese curd and specific cutting force of cheese curd by knives of different constructions are shown.

Одним з найважливіших технологічних процесів, що справляє значний вплив на кількість готового сиру та його органолептичні показники, є виробництво сирного зерна. Цей процес об'єднує низку процесів (біохімічних, гідромеханічних, тепло- й масообмінних), що здійснюються у визначеній послідовності й істотно позначаються на наступних технологічних операціях[1-3]. Так, процес розрізання сирного згустка значною мірою залежить від його густини та в'язкості, що зумовлюються інтенсивністю біохімічного процесу зсідання молока під дією молочнокислих мікроорганізмів і молокозсідальних ферментних препаратів, тривалістю зсідання й фізико-хімічними властивостями молочної суміші (кислотністю, густиною, масовими частками жиру й білка тощо). Умови проведення процесу розрізання сирного згустка визначають кількісні (масова частка сирного зерна) та якісні (геометрична форма, величина сирного зерна) показники сирного зерна, що безпосередньо пов'язані з процесом осідання сирного зерна та підтриманням його у завислому стані.

У виробничих умовах всі ці стадії здійснюються в конструктивно складних апаратах - сировиготовлювачах або в сироробних ваннах. Більшість сироробних підприємств України оснащено сироробними ваннами угорського виробництва. На деяких підприємствах експлуатують сировиготовлювачі "Альфа-Лаваль" (Швеція), "Хакман-МКТ" (Фінлян-

дія) та інших зарубіжних фірм. Всі ці апарати мають певні особливості, які впливають на технологічну ефективність виготовлення сирного зерна під час виробництва сирів різних видів [4-6].

- Метою дослідження було встановлення раціональних режимів розрізання сирного згустка в апаратах для виготовлення сирного зерна, які дають змогу мінімізувати втрати білка і жиру під час виробництва твердих сирів.

Для визначення раціональних режимів розрізання сирного згустка в сировиготовлювачах провели серію дослідів з виготовленням сирного зерна на експериментальному зразку сировиготовлювача місткістю 250 л, на якому було встановлено універсальний прилад визначення крутного моменту. Для дослідів розрізали сирний згусток з молочної суміші з масовими частками жиру 0,05 та 3,2 %. Основними параметрами, за якими обирали раціональні режими розрізання, були масові частки жиру і сухих речовин у сироватці після розрізання згустка та питома зусилля різання. При цьому питома зусилля різання визначали у вигляді залежності $P=f(Re)$, оскільки число Рейнольдса характеризує режим руху сирного згустка при обтіканні різальних ножів.

Критерій Рейнольдса розраховували за формулою [7]:

$$Re = v h \rho / \mu \quad (1)$$

де: v – швидкість різання, м/с; h – визначальний розмір ножа – висота, м; ρ – густина сирного згустка, кг/м³; μ – динамічна в'язкість сирного згустку, Па с.

Результати досліджень. Першим процесом, що здійснюється в сировиготовлювачі і від якого залежать умови проходження всіх наступних технологічних операцій, є зсідання молочної суміші під дією молокозсідального ферментного препарату. Основним показником інтенсивності цього процесу вважається динамічна в'язкість сирного згустка, яка змінюється залежно від тривалості процесу і є основою розрахунку потужності приводу різально-вимішувального механізму. Ми провели експериментальні дослідження кінетики зміни динамічної в'язкості сирного згустка під час зсідання на універсальній випробувальній машині «Інстрон-1122» методом занурення в зразок згустка кульового індентора, що дає змогу одержати числові значення динамічної в'язкості згустка без його механічного руйнування. Числові значення розраховували за формулою Стокса:

$$\mu = P / (6 v r) \quad (2)$$

де: μ – динамічна в'язкість сирного згустка, Па с; P – зусилля, що реєструвалось самописним приладом, Н; r – радіус кульки, що занурювалась у згусток, м; v – швидкість занурення кульки, м/с.

Згусток одержували за однією технологією методом сичужного зсідання молочної суміші після внесення бактеріальної закваски і хлористого кальцію. Зсідання суміші здійснювали в однакових за об'ємом місткостях. Глибина занурення кульки становила 0,03 м. Зусилля, що витрачалось на подолання в'язких сил, реєструвалось самописним приладом. Дослідження проводили на згустках з різною масовою часткою жиру, яку змінювали від 0,05 до 3,5 %. Тривалість зсідання молочної суміші змінювали в межах від 900 до 2700 с, що відповідає режимам витримання згустка, які застосовуються при різних технологіях виробництва сирів. Оскільки при виробництві більшості видів сирів температура зсідання є постійною і коливається в межах від 30 °C до 34 °C, температуру зсідання під час проведення дослідів не змінювали. Також постійними залишали вид, дозу і технологічний режим внесення бактеріальної закваски, що дало змогу здійснювати досліді при постійній кислотності.

У результаті математичної обробки експериментальних даних одержали емпіричну залежність, що описує кінетику сичужного зсідання молочної суміші:

$$\mu = 9,23 \tau^{0,46} \varphi^{0,05} \quad (3)$$

де: φ – масова частка жиру в молочній суміші, %; τ – тривалість зсідання згустку, с.

Для визначення впливу на питоме зусилля різання товщини ножа, якої не враховує критерій Рейнольдса, експерименти проводили з ножами з різної товщини – від 0,0005 м до 0,003 м. Значення критерію Рейнольдса варіювали, змінюючи частоту обертання різально-вимішувальних інструментів у межах від 0,033 до 0,499 с⁻¹, а висоту ножів – від 0,01 м до 0,03 м. За лінійну швидкість, що міститься в критерії Рейнольдса, приймали середню швидкість (швидкість середнього ножа), розраховану за формулою:

$$v = \omega r_c \quad (4)$$

де: ω – частота обертання різально-вимішувальних інструментів, с⁻¹; r_c – радіус обертання середнього ножа, м; для експериментального зразка $r_c = 0,3$ м.

Математична обробка експериментальних даних дала змогу вивести залежність, що описує процес розрізання сирного згустку у сировиготовлювачі ножовими різальними інструментами:

$$P = 195,6 S^{0,58} Re^{0,27} \quad (5)$$

де P – питоме зусилля різання, Н/м; S – товщина ножа, м.

Перед проведенням кожного досліді вимірювали густину і масові частки жиру та сухих речовин молочної суміші. Динамічну в'язкість розраховували за формулою (2), при цьому тривалість зсідання суміші контролювали за годинником з секундною стрілкою. Після завершення процесу розрізання згустка відбирали сироватку і визначали в ній масові частки жиру та сухих речовин. Одержані дані наведено в таблиці.

Аналіз одержаних експериментальних даних показує, що із збільшенням значень критерію Рейнольдса в процесі розрізання сирного згустка в сировиготовлювачі зростають втрати жиру й сухих речовин. Також зростає значення питомого зусилля різання. Водночас, масові частки жиру й сухих речовин, що переходять у сироватку, збільшуються незначно до досягнення критерієм Рейнольдса значення $3,09 \cdot 10^{-3}$. При числі Рейнольдса $3,71 \cdot 10^{-3}$ вміст жиру та сухих речовин у сироватці відповідає вимогам технологічних інструкцій на виробництво твердих сирів, а при більших числах Рейнольдса втрати стрімко зростають, що свідчить про недоцільність проведення процесу розрізання сирного згустка при таких режимах. Також недоцільно проводити розрізання при числах Рейнольдса, менших ніж $6,18 \cdot 10^{-4}$, оскільки процес у цілому уповільнюється і зростає різниця між масовими частками вологи в сирних зернах, що утворюються на початку процесу розрізання і при його закінченні. Це може негативно впливати на наступні технологічні операції (формування, пресування і визрівання) виробництва сиру.

Результати процесу різання сирного згустка
Нтреkmnfnb

Номер досліджу	Критерій Рейнольдса $Re \cdot 10^3$	Масова частка в сироватці, %		Питоме зусилля різання, Н/м
		жиру	сухих речовин	
1	0,62	0,25	5,6	0,538
2	1,24	0,27	5,7	0,649
3	1,86	0,30	6,0	0,724
4	2,47	0,33	6,4	0,782
5	3,09	0,40	6,8	0,831
6	3,71	0,50	7,8	0,873
7	4,33	0,60	8,0	0,910
8	4,95	0,80	9,0	0,944
9	5,57	1,00	9,4	0,974
10	6,18	1,30	10,0	1,002
11	9,28	180	10,6	1,118

логические и физиологические аспекты/под ред. С.А. Гудкова – М.: ДеЛипринт, 2003. – 800 с.

3. Диланян З. Х. Основы сыроделия – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Пищевая пром-сть, 1980. – 112 с.

4. Ересько Г.А., Орлюк Ю.Т., Савченко А.А. Новые модели вертикальных сыроизготовителей – Молочная промышленность. – 1997. - № 8. – С. 16-18.

5. Ересько Г., Савченко О., Орлюк Ю. Вертикальні сировиготовлювачі нового покоління. – Харчова і переробна промисловість. – 2001. - № 4. – С. 26-27.

6. Савченко О.А. Дослідження процесу розрізання сирного згустка – Вісник аграрної науки. – 1999. - № 6. – С.68-70.

7. Стабников В.Н., Лысянский В.М., Попов В.Д. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Агропромиздат, 1985. – 503 с.

Висновки.

За результатами проведених досліджень встановлено межі числових значень критерію Рейнольдса, у яких доцільно проводити процес розрізання сирного згустка в сировиготовлювачах. Одержані емпіричні залежності дають змогу обчислити швидкість обертання різальних інструментів залежно від їх конструктивних параметрів та фізико-хімічних показників молочної суміші. Це сприяє встановленню раціональних режимів розрізання сирного згустка при виробництві сирів усіх видів у сировиготовлювачах і сироробних ваннах різної конструкції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Брюль Ж., Ленуар Ж. В кн.: «Производство сыра: технология и качество». Пер. с фр. - под ред. и с предисл. Г. Г. Шиллера. – М.: Агропромиздат, 1989. – 367 с.
2. Гудков А. В. Сыроделие: технологические, био-

