



УДК 65.011.56:664(075)

**АНАЛІЗ КАНАЛІВ КЕРУВАННЯ
АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ
ВИРОБНИЦТВА ВЕРШКОВОГО МАСЛА СПОСОБОМ
БЕЗПЕРЕРВНОГО ЗБИВАННЯ**

Петриченко С.В., к.т.н.,

Лобода О.І., інженер.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тодоріко О.М., інженер

Ново-Каховський агротехнологічний коледж ТДАТУ

Тел.: (0619) 42-57-97

Анотація – в роботі розглянуті канали керування процесом виробництва вершкового масла способом безперервного збивання для подальшої автоматизації технологічного процесу.

Ключові слова – волога, зона контролю, експеримент, масло, частота обертання, показник якості, стабілізація, ступень збивання.

Постановка проблеми. Відомо, що автоматизація важливий засіб здійснення переходу до якісно нового виробництва за рахунок підвищення продуктивності роботи, поліпшення якості продукції, оптимізації процесів, зниження собівартості продукції, забезпечення безпеки роботи устаткування, поліпшення умов і культури виробництва.

Автоматизація виготовлення масла безперервним способом дуже актуальна на сьогоднішній день. Так як, на відміну від перериваного способу виробництва вершкового масла, він забезпечує економію часу, займає меншу площу, знижує кількість бактерій, які попадають у масло під час протікання процесу, знижує собівартість продукту, дозволяє більш ретельно стежити за всім протіканням процесу, за рахунок використання приладів автоматизації.

Для визначення напрямків при автоматизації процесу виготовлення вершкового масла виникає потреба в аналізі каналів керування – частоти обертання мішалки збивача, температури збивання сливков, витрати нормалізуючих компонентів, частоти обертання шнеків та інших, для чого необхідно провести математичне моделювання.

Аналіз останніх досліджень. Вершкове масло - продукт із високою концентрацією молочного жиру, що має серед природних жирів найбільшу харчову й біологічну цінність. Масло має приємний специфічний смак і запах, жовтий або жовтувато-білий колір, пластичну консистенцію при 10...12 °С, зберігає форму в широкому діапазоні температур (10...25 °С).

У маслі традиційного хімічного складу міститься: жиру не менш 82,5%, вологи не більш 16%, СОМО 1,0...1,9; солі не більш 1,5% (солоне масло) з відповідним зменшенням масової частки жиру. Його енергетична цінність становить близько 32682 кДж/кг при середній засвоюваності жиру 97% і сухих речовин плазми 94%. Біологічна цінність масла доповнюється вмістом у ньому жиророзчинних і водорозчинних вітамінів, поліненасичених жирних кислот, фосфатидів і мінеральних речовин [1].

Технологічний процес виробництва вершкового масла способом збивання здійснюється в масловиготовлювачах безперервної дії (МБД) з вершків, що пройшли фізичне дозрівання в вершкодозрівальних резервуарах. Технологічний процес у масловиготовлювачі умовно можна розділити на дві основні стадії, представлені на рис. 1.



Рис. 1. Структурна схема процесу виробництва вершкового масла в МБД.

На стадії збивання вершків відбувається утворення масляного зерна й часткове видалення сколотини, а на другій стадії механічної обробки масляного зерна - формування шару масла, стабілізація параметрів консистенції, вмісту вологи, ступені дисперсності включень вологи й вмісту повітря [1].

Формулювання цілей статті та постановка завдання. Враховуючи сказане вище, і незважаючи на існування промислових систем автоматичного керування процесом виробництва вершкового масла, виникає необхідність визначити канали керування цим процесом з подальшою його оптимізацією.

Основна частина. Виробництво вершкового масла безперервним способом відбувається за визначеною технологією, функціональна схема якої представлена на рис. 2 із зазначенням зон контролю й керування основними технологічними параметрами. Технологічний процес у МБД протікає в такий спосіб [2].

Вершки з вершкодозрівального резервуара через зрівнювальний бак I, рівень у якому підтримується регулятором LC, подаються гвинтовим насосом III через теплообмінний апарат II в масловиготовлювач IV. Для лабораторного аналізу технологічних характеристик вершків $x(1)...x(4)$, що надходять на збивання, передбачений відбір проб з бака I, а теплообмінник II має регулятор TC, що стабілізує температуру вершків, що подаються в масловиготовлювач. Передбачена можливість дистанційного керування зміною уставки регулятора TC по каналу керування Y(4) і керування клапаном по каналу Y(7) для зміни витрати вершків, що надходять у мішалку - збивач IVa масловиготовлювача, де відбувається формування масляного зерна. Привод мішалки - збивача постачений системою регулювання частоти обертання SC1 з дистанційною зміною уставки регулятора Y2.

Зі збивача масляне зерно зі сколотинами надходить у шнековий маслообробник IVб із трьох послідовно розташованих шнекових камер. У першій шнековій камері проводиться перемішування й промивання водою масляного зерна, відділення сколотин у збірний бак V, охолодження й ущільнення масляного зерна шнеками. Рівень сколотин у першій шнековій камері регулюється за допомогою сифона. У другій камері проводиться остаточне відділення сколотин і подальше формування структури масляного шару й рівномірного розподілу в ньому вологи. Камера має водяну сорочку для охолодження масляного шару.

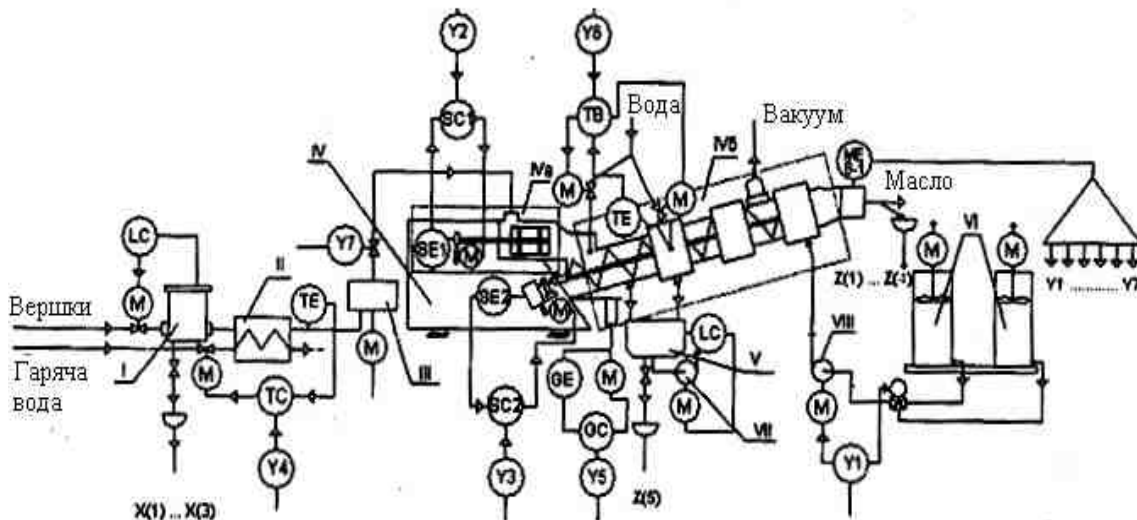


Рис. 2. Функціональна схема комплексу виробництва вершкового масла способом безперервного збивання.

У третій камері завершується формування вмісту вологи в маслі по величині, близькій до нормованого, вакуумуванням видаляється повітря з масла і забезпечується рівномірність розподілу диспергова-

них включень вологи в маслі шляхом екструзії крізь ґрати з отворами. У маслообробнику IVб встановлена система регулювання частоти обертання привода шнека SC2 з дистанційною зміною уставки регулятора Y3. Конструкція маслообробника передбачає зміну рівня відбору сколотини по дистанційному каналу керування Y5. Передбачений контур керування інтенсивністю подачі промивної й охолоджувальної води в маслообробник (ТВ) з використанням дистанційного управління каналу Y6.

У баці для збору сколотин V встановлена система періодичної відкачки сколотини LC по сигналу граничного рівня. Передбачена можливість відбору проби сколотини для лабораторного контролю на вміст жиру $z(4)$.

У третій камері маслообробника встановлена система, що забезпечує доведення вмісту вологи в маслі до нормованого значення. Система містить у собі насос-дозатор VIII, ємності зберігання компонента, що нормалізує (молочної відвійки або сколотини) VI і пристрою керування дозуванням LY. Передбачене дистанційне керування системою Y(1).

На виході масловичого виходу безупинно, або періодично приладом не контролюється вміст вологи в маслі. Передбачений також відбір проби для проведення лабораторного контролю основних показників якості продукту $z(1) \dots z(4)$.

На рис. 3 представлена параметрична схема, що характеризує процес виробництва масла в МБД. У числі параметрів $z(i)$, які формуються в процесі переробки вершків у масло, слід зазначити:

- вміст вологи в маслі $z(1)$, відсотки;
- консистенція $z(2)$, бали;
- температура масла на виході з МБД $z(3)$, °C;
- рівномірність розподілу диспергованих включень вологи в маслі $z(4)$, %.

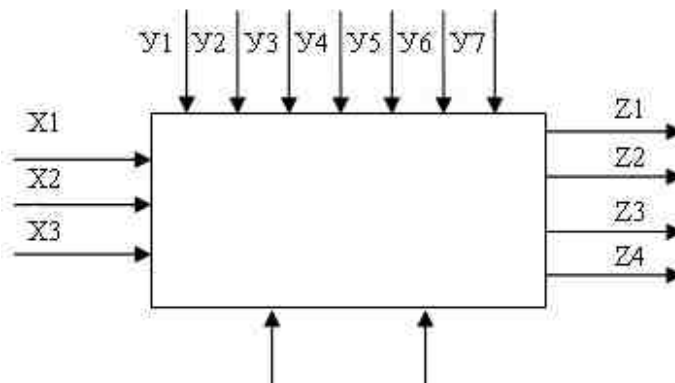


Рис. 3. Параметрична схема процесу виробництва масла в МБД.

На стабільність перерахованих вище параметрів суттєво впливають змінні характеристики сировини, некеровані впливи $x(\gamma)$:

- вміст жиру у вершках $x(1)$, відсотки;
- кислотність вершків, $x(2)$, °Т;
- йодне число, що характеризує співвідношення різних видів жиру у вершках, $x(3)$, відсотки.

Відхилення чисельних значень показників якості $z(i)$ можуть викликати також зміни параметрів роботи обладнання МБД - керуючі впливи $y(j)$:

- витрата компонента, що нормалізує $y(1)$, л/год.;
- частота обертання мішалки збивача $y(2)$, 1/с;
- частота обертання шнеків обробника $y(3)$, 1/с;
- температура збивання вершків (на вході в МБД) $y(4)$, °С;
- рівень сколотин у шнековій камері $y(5)$, см.
- подача промивної води в шнекову камеру $y(6)$, л/год.;
- витрата вершків у МБД $y(7)$, л/год.

У такий спосіб МБД є багатофакторним об'єктом керування, у якому у безперервному потоці реалізуються теплообмінні й масообмінні процеси структурно-механічної обробки й агрегатно-фазові перетворення сировини в продукт із заданими показниками якості. Для розробки системи керування таким об'єктом необхідно провести комплексний апаратно-технологічний аналіз.

Зробимо аналіз процесу з метою створення системи стабілізації одного з найважливіших показників якості - вмісту вологи в готовому продукті. Нормовані значення вмісту вологи в маслі $z(1)$ стандартизовані залежно від виду масла [1]:

- не вище 16,0 % для вершкового;
- не вище 20,0 % для аматорського;
- не вище 25,0 % для селянського;
- не вище 35,0 % для бутербродного.

Система керування МБД повинна забезпечити стабілізацію вмісту вологи в готовому продукті у деякому досить вузькому діапазоні нижче позначених вище значень.

Стандартом визначені також граничні значення оцінки інших показників якості. Так для вмісту жиру в сколотинах, зазначена межа не більш 0,05 %. Для створення системи керування МБД, що забезпечує стабілізацію вологи в маслі $z(1)$ у будь-яких виробничих ситуаціях, необхідно оцінити ступінь впливу на $z(1)$ збурювань і керуючих впливів.

В таблиці 1 наведені результати аналізу виробничих ситуацій, технічної й технологічної документації на МБД. Мета аналізу — визначити

номінальні значення й діапазони варіювання основних, що збурюють $x(\gamma)$ і керуючих $y(j)$ впливів на МБД, які можуть викликати відхилення від номіналу вмісту вологи в продукті $z(I)$.

Наступним етапом аналізу є визначення ступеня впливу кожного параметру збурювання $x(\gamma)$ і $y(j)$ на відгук $z(I)$. Аналіз проводився з використанням технічної й технологічної документації, а також результатів експериментів, проведених у різний час на МБД.

Таблиця 1 –

Номінальні значення й діапазони варіювання основних, що обумовлюють $x(\gamma)$ і керуючих $y(j)$ впливів на МБД

Фактори процесу виробництва масла (канали керування)		Позначення	Од. виміру	Орієнтовне середнє (номінальне) значення	Технологічний інтервал відхилення від середнього значення	
					від	до
Керовані	Частота обертання мішалки збивача	Y2	с ⁻¹	24,2	-6,8	+6,8
	Температура збивання вершків	Y4	°C	11,0	-3,0	+3,0
	Витрата компонента що нормалізує	Y1	відс.	1,0	-1,0	+1,0
	Витрата (подача) вершків у збивач	Y7	л/год	2600	-260	+260
	Частота обертання шнеків маслообробника	Y3	с ⁻¹	0,45	-0,05	+0,05
	Рівень сколотин у шнековій камері	Y5	м	0,15	-0,06	+0,06
Не керовані	Жирність вихідних вершків	X1	відс.	41,5	-3,5	+3,5
	Кислотність вихідних вершків	X2	°T	15,0	-3,0	+3,0
	Йодне число	X3	відс.	39	-9	+9

В результаті дослідження встановлено:

1. При роботі МБД вміст вологи в маслі збільшується на 1%, при збільшенні частоти обертання мішалки збивача на 1,66 с⁻¹. Аналогічне зменшення частоти обертання мішалки збивача приводить до зниження вмісту вологи в маслі в тих же межах.

2. Температура збивання вершків на вході в МБД значно впливає на вміст вологи в маслі. Так при підвищенні температури збивання на $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ збільшується вміст вологи в маслі на 1%.

3. Оперативне регулювання вмісту вологи в маслі здійснюють шляхом подачі компонента, що нормалізує, за допомогою насоса-дозатора в технологічну зону обробки масляного зерна. При цьому технологічними інструкціями рекомендується використовувати насос-дозатор для підвищення вмісту вологи в маслі в інтервалі до 1,0 %.

4. При збільшенні продуктивності масловичого вершківача (подачі вершків у збивач) вологість масла зменшується й, навпаки, при зменшенні продуктивності - вологість масла збільшується. При зменшенні продуктивності масловичого вершківача на 10 % вміст вологи в маслі збільшується орієнтовно на 1 %.

5. Вплив частоти обертання шнеків на вміст вологи в маслі пов'язаний зі зміною величини тиску пресових шнеків на масло. При зниженні частоти обертання шнеків ступінь заповнення шнекової камери збільшується, відповідно збільшується тиск пресових шнеків на масло, прискорюється витискання сколотини з масляного зерна, що призводить до зменшення вмісту вологи в маслі. При підвищенні частоти обертання шнеків, навпаки, вміст вологи в маслі збільшується, оскільки при більш швидкому русі масла в шнековій камері витискається менше сколотини. При збільшенні частоти обертання шнеків у масловичого вершківачі на $0,25\text{ c}^{-1}$ вміст вологи в маслі збільшується на 0,5-1,0 %. Аналогічне зменшення частоти обертання шнеків обробника приводить до зниження вмісту вологи в тих же межах.

6. При зниженні рівня сколотини в шнековій камері обробника вміст вологи зменшується, а при підвищенні, навпаки, збільшується, внаслідок збільшення часу контакту сколотини з маслом. При зміні рівня сколотини на 2 см можна змінити вміст вологи в маслі на 0,1 %.

7. На вміст вологи в маслі істотний вплив виявляє жирність вихідних вершків, що надходять у збивач масловичого вершківача. Зі зменшенням вмісту жиру у вершках вміст вологи в масляному зерні знижується й відповідно знижується вміст вологи в маслі. Так зі зменшенням вмісту жиру у вершках з 40 до 30 %, вміст вологи в маслі зменшується з 33 до 25,4 %.

8. Можливі інтервали зміни кислотності вершків від 12 до 18 $^{\circ}\text{T}$, а відхилення рН не повинні перевищувати 0,2 %. При збиванні надмірно кислих вершків (коли рН нижче ізоелектричної крапки білків) тривалість процесу подовжується, а жирність сколотин підвищується.

9. Йодне число - умовна величина, що являє собою кількість йоду, який приєднався до 100 г жиру виражене у відсотках. Воно дозволяє судити про ступінь ненасиченості жирних кислот, що входять до складу

жиру. Йодне число протягом року змінюється від 25 узимку до 45 улітку. Відомо, що збільшення йодного числа жиру сприяє зменшенню вологи в маслі.

Аналіз представлених вище даних показує, що при керуванні МБД є широкі можливості компенсації впливу на вміст вологи в продукті відхилень некерованих збурень (факторів) зміною керуючих впливів (факторів) у діапазонах наведених у табл. 1.

Це завдання може виконати контур регулювання "по відхиленню", у якому обмірювані влогометричною системою з первинним перетворювачем МЕ (рис. 2) відхилення вологості від номінального значення усуваються регулятором, впливом, наприклад, на зміну витрати компонента, що нормалізує (канал керування Y_1 на рис. 2).

При виборі каналу керування для регулятора вологості слід вибрати з переліку керованих факторів процесу (табл. 1) такий, який впливає на відгук z_1 і реалізує керуючий вплив на об'єкт із достатньою оперативністю.

Контур регулювання вологості масла по відхиленню може виявитися неефективним при переході на випуск іншого виду масла або при істотних змінах характеристик сировини (зимовий - літній сезон). Підвищення якості роботи регулятора вологості в будь-яких виробничих ситуаціях може забезпечити система програмного керування МБД із використанням принципу керування по збурюваннях. Для реалізації такої системи необхідно реалізувати рівняння регресії [3-5]

$$Z_1 = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + b_1 \cdot y_1 + b_2 \cdot y_2 + b_3 \cdot y_3 + b_4 \cdot y_4 + b_5 \cdot y_5 \quad (1)$$

Коефіцієнти регресії $a(i)$, $b(j)$ визначають за результатами експериментального обстеження об'єкта, або шляхом побудови й дослідження структурно-параметричної моделі МБД.

У табл. 2 представлений фрагмент результатів, отриманих при проведенні пасивного експерименту на масловиготовлювачі безперервної дії. У стовпцях x_1, \dots, z_2 (табл. 2) записані чисельні значення параметрів, що спостерігалися при проведенні 20 збійок масла:

x_1 - жирність вершків, відс.;	v_2 - частота обертання шнека, об/хв $\cdot 10^{-1}$;
x_2 - кислотність вершків, °Т;	v_3 - витрата вершків, м ³ /година;
v_1 - частота обертання збивача, об/хв 10^{-1} ;	z_1 - жирність сколотин, відс.;
	z_2 - вологість масла, відс.

Таблиця 2 –
Експериментальне обстеження процесу виробництва вершкового масла методом безперервного збивання

номер ре- жиму	x1	x2	y1	y2	y3	z1	z2
1	43,5	13	144	8,8	7,2	0,70	22,5
2	38,5	13	136	9,0	7,0	0,73	23,3
3	35,0	18	162	9,0	6,3	0,81	25,2
4	37,3	13	157	9,0	6,8	0,75	24,0
5	39,5	15	133	9,0	6,8	0,74	23,6
6	36,0	10	147	8,5	6,2	0,73	25,5
7	36,0	15	144	8,5	6,8	0,70	23,4
8	35,5	12	120	8,8	6,8	0,73	24,1
9	35,0	18	157	9,2	6,6	0,81	24,4
10	39,0	16	136	9,0	7,3	0,74	22,4
11	40,0	14	136	8,6	6,8	0,72	23,4
12	44,0	15	110	9,4	7,2	0,73	22,6
13	38,0	15	147	9,0	6,6	0,77	24,3
14	43,5	14	152	9,0	6,6	0,81	25,3
15	39,0	14	147	9,0	7,3	0,72	24,5
16	41,0	12	134	9,7	6,6	0,78	24,6
17	38,0	14	136	9,0	6,8	0,75	23,8
18	37,3	16	154	8,8	7,2	0,74	22,7
19	42,0	15	120	9,0	6,8	0,73	23,4
20	36,0	15	158	9,1	6,8	0,77	24,0
<i>nom</i>	38,705	14,35	141,5	8,97	6,825	0,748	23,85
<i>max</i>	44,0	18	162	9,7	7,3	0,81	25,5
<i>min</i>	35,0	10	110	8,5	6,2	0,7	22,4
<i>sao</i>	2,3155	1,45	11,25	0,182	0,225	0,0266	0,74

У рядках *nom*, *max*, *min* і *sao* (табл. 2) відбиті результати статистичного аналізу даних:

- *nom* - номінальне значення (у цьому випадку середнє арифметичне);

- *max* і *min* - межі варіювання параметрів в експерименті;

- *sao* - середньоарифметичне відхилення в масиві даних (стовпці) стосовно *nom*, наприклад, для стовпця *x1*

$$sao = \frac{\sum_{i=1}^{20} (x1(i) - nom)}{20}. \quad (2)$$

Для оцінювання ступеня впливу x_1, x_2, y_1, y_2 і y_3 на, відповідно, вміст жиру в сколотинах (z_1) і вміст вологи в маслі (z_2) використовувалася процедура "Пошук розв'язку", що є стандартною надбудовою Microsoft Excel [6]. При цьому рівняння регресії відшукувалися у вигляді:

$$\Delta z_1 = a_1 \cdot \delta x_1 + a_2 \cdot \delta x_2 + a_3 \cdot \delta x_3 + a_4 \cdot \delta x_4 + a_5 \cdot \delta x_5 + a_0, \quad (3)$$

$$\Delta z_2 = b_1 \cdot \delta x_1 + b_2 \cdot \delta x_2 + b_3 \cdot \delta x_3 + b_4 \cdot \delta x_4 + b_5 \cdot \delta x_5 + b_0, \quad (4)$$

де $\Delta z_1, \Delta z_2$ - відповідно, розрахункове відхилення жирності сколотини й вологості масла від номінального значення;

$a_0 \dots a_5, b_0 \dots b_5$ - коефіцієнти регресії, обірані методом ітерації.

Після проведення розрахунків отримуємо значення коефіцієнтів:

b1	b2	b3	b4	b5	b0
-0,008600	-0,03780	0,02801	0,18217	-0,71794	-0,00665

Чисельні значення відносної похибки розрахунків ступенів впливу відхилення параметрів процесу виробництва масла на відхилення жирності сколотини, визначалися по формулі

$$\Delta s = \frac{\delta z_1 - \Delta z_1}{\delta z_1} \cdot (5)$$

Чисельні значення погрішності оцінки очікуваних значень показника якості, визначалися по формулі

$$s = \frac{\delta z_1 - \Delta z_1}{z_1} \cdot 100\% \quad (6)$$

Методика пошуку коефіцієнтів регресії рівняння (2) аналогічна. Результати представлено в таблиці 2.

Висновки. В результаті виконаної роботи запропонована функціональна схема автоматизації. Обрані параметри контролю, що впливають на технологічний процес виробництва вершкового масла. Визначені некеровані впливи на процес виробництва вершкового масла. В результаті аналізу і моделювання технологічного процесу виробництва вершкового масла визначені номінальні значення і діапазони варіювання основних збурюючих і керуючих впливів.

Література

1. Производство сливочного масла: Справочник / Андрианов Ю.П., Вышемирский Ф.А., Качераускис Д.В., и др.; под ред. д.т.н. Ф.М. Вышемирского. – М.: Агропромиздат, 1988. – 303 с.

2. Соколов В.А. Основы автоматизации технологических процессов пищевых производств / В. Ф. Яценко, В. А. Соколов, Л. Б. Сивакова и др. Под ред. В. А. Соколова. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. - 400 с.
3. Мартиненко І.І. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК: [Підручник] / Мартиненко І.І., Лисенко В.П., Тищенко Л.П., Болбот І.М., Олійник П.В. . - К., 2008. – 330 с.
4. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л.З. Румшинский. - М.: Главная редакция физико – математической литературы изд-ва "Наука", 1971. – 194 с.
5. Фадеев М.А. Элементарная обработка результатов эксперимента: Учебное пособие / М.А. Фадеев. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского университета, 2002. – 108 с.
6. Джинджер С. Анализ данных в Excel: наглядный курс создания отчетов, диаграмм и сводных таблиц.: Пер. с англ. / С. Джинджер - М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. – 528 с.

АНАЛИЗ КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ АППАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ ПРОИЗВОДСТВА СЛИВОЧНОГО МАСЛА СПОСОБОМ НЕПРЕРЫВНОГО ВЗБИВАНИЯ

Петриченко С.В., Лобода А.И., Торики А.М.

Аннотация – в работе рассмотрены каналы управления процессом производства сливочного масла способом непрерывного взбивания для дальнейшей автоматизации технологического процесса.

ANALYSIS OF CHANNELS MANAGEMENT BY APPARATUS-TECHNOLOGICAL COMPLEX OF PRODUCTION OF DAIRY BUTTER BY METHOD CONTINUOUS RAFTING

S. Petrichenko, A. Loboda, O. Todoriko

Summary

In process the considered channels of process control of production of dairy butter by the method of the continuous rafting for further automation of technological process.