

ОБОБЩЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО МАССООБМЕНУ ПРИ БЛОЧНОМ ВЫМОРАЖИВАНИИ СТОЛОВЫХ СУХИХ ВИН

Радионова О.В., канд. техн. наук, доцент, Осипова Л.А., д-р техн. наук, с.н.с.,
Бурдо О.Г., д-р техн. наук, профессор
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Работа посвящена обобщению экспериментальных данных по кинетике блочного вымораживания на основе математического описания теплофизических характеристик белых и красных столовых сухих вин. Представлены уравнения для расчета теплофизических характеристик вин в процессе вымораживания. Получено уравнение в обобщенных переменных, описывающее массообмен при разделении столовых сухих вин методом блочного вымораживания.

Work is devoted generalization of experimental information on kinetics of the block freezing out on the basis of mathematical description of thermophysical descriptions of white and red table dry wines. The equations for calculation of thermal performances of wines during freezing out are presented. The equation in the generalized variables, featuring a mass transfer is gained at partitioning table dry wines by a method of block freezing out.

Ключевые слова: слабоалкогольные винные напитки, блочное вымораживание, массообмен, теплофизические характеристики, числа подобия.

Программа организации потребительского рынка напитков, обогащенных природными биологически активными веществами, носит социально направленный характер [1-3]. Производство таких напитков возможно путем разработки новых технологий, в частности, с использованием столовых сухих виноградных вин, которые являются продуктом переработки винограда и содержат богатый комплекс полезных питательных веществ, микроэлементов и других биологически активных веществ, имеющих лечебные, профилактические и оздоровительные свойства. Среди алкогольных напитков винодельческой промышленности наибольшим спросом у населения пользуются именно столовые вина, в связи, с чем увеличиваются объемы их производства. Это создает реальные условия для развития промышленного производства слабоалкогольных напитков на основе столовых сухих виноградных вин.

Одним из способов получения высококачественных слабоалкогольных винных напитков является блочное вымораживание столовых сухих виноградных вин с последующим разделением их на низко- и высокоалкогольную фракции. Метод вымораживания является наиболее приемлемым, так как удаление некоторой доли воды в жидких пищевых продуктах путем превращения ее в твердую фазу происходит при полном сохранении всего комплекса ценных компонентов, что выгодно отличает этот метод концентрирования от других [4-7]. Вместе с тем необходимо отметить, что до настоящего времени издано весьма ограниченное число работ по разделению столовых сухих вин вымораживанием, в которых на достаточно широкой информационной основе давались бы обобщенные результаты исследований.

Исследование процессов разделения столовых сухих вин методом блочного вымораживания предполагало изучение кинетики льдообразования, изменение структурных характеристик блоков льда при вымораживании, а также процесса гравитационного сепарирования блока льда.

Процесс разделения столовых сухих вин на низко- и высокоалкогольную фракции способом блочного вымораживания включает ряд технологических этапов: предварительное охлаждение исходного продукта; намораживание на поверхности кристаллизатора блока льда; выдерживание блока льда при положительной температуре. На основании экспериментальных исследований по блочному вымораживанию столовых сухих вин [4, 5] разработаны и обоснованы рациональные режимы процесса: предварительное охлаждение поступающего на вымораживание обработанного розливистойкого вина до температуры +2...+4 °С; одноступенчатое блочное вымораживание белых и красных сухих вин при температурах -18 и -22 °С соответственно; гравитационное сепарирование блока льда при температуре +18...+20 °С; объединение гравитационно-отсепарированного виноматериала из пор блока льда с незамерзшей фракцией.

Применение гравитационного сепарирования блоков льда при производстве слабоалкогольных винных напитков позволяет значительно снизить энергетические затраты, являющиеся важной составляющей себестоимости готового продукта [8, 9]. Кроме того, установлено, что из блоков льда при выбранных режимах вымораживания стекает концентрированный виноматериал, содержание спирта в котором

на 5 % вище, чем в незамерзшей фракции. Это создает условия для использования гравитационно-отсе-парированного вина как для доведения расплавленного блока льда до требуемых кондиций по спирту, так и для возврата к незамерзшей части.

На основе полученных экспериментальных данных по кинетике льдообразования проводили расчеты (табл. 1) по оценке влияния продолжительности и температурных режимов процесса на формирование блока льда, производительность кристаллизатора и интенсивность вымораживания.

Таблица 1 – Сводная таблица расчетных значений

Продолжи- тельность процесса, ч	Производительность кристаллизатора $L_n \cdot 10^{-5}$, кг/с				Площадь поверхности блока льда $F_n \cdot 10^{-2}$, м ²				Интенсивность вымораживания $G_n \cdot 10^{-3}$, кг/с·м ²			
	-10	-14	-18	-22	-10	-14	-18	-22	-10	-14	-18	-22
Белые сухие вина												
1	6,62	12,7	15,0	17,3	3,75	4,45	4,69	4,9	1,77	2,85	3,2	3,53
2	5,86	9,93	12,9	15,7	4,34	5,14	5,66	6,1	1,35	1,93	2,28	2,57
3	5,09	8,02	11,1	14,0	4,71	5,51	6,25	6,87	1,08	1,46	1,78	2,04
4	4,2	6,62	9,87	12,6	4,86	5,72	6,69	7,42	0,86	1,16	1,48	1,7
5	3,57	5,81	9,02	11,2	4,95	5,92	7,08	7,77	0,72	0,98	1,27	1,44
Красные сухие вина												
1	5,86	9,43	12,2	12,7	3,43	3,92	4,23	4,37	1,71	2,41	2,88	2,91
2	3,69	6,37	8,41	10,2	3,62	4,34	4,77	5,16	1,02	1,47	1,76	1,98
3	2,89	5,35	6,71	8,66	3,76	4,71	5,14	5,68	0,77	1,14	1,31	1,52
4	2,42	4,46	5,8	7,77	3,88	4,92	5,42	6,09	0,62	0,91	1,07	1,28
5	2,04	3,82	5,25	7,18	3,93	5,04	5,69	6,44	0,52	0,76	0,92	1,11

Анализ полученных данных показывает, что в процессе вымораживания площадь поверхности блока льда, как с течением времени, так и с понижением температуры испарителя, постоянно увеличивается. Также установлено, что с понижением температуры испарителя производительность кристаллизатора при вымораживании белых вин увеличивается в 2,61 раза, красных — 2,17 раза и соответственно увеличивается интенсивность вымораживания. В то же время, в зависимости от продолжительности процесса производительность установки и интенсивность процесса вымораживания уменьшаются.

Обобщение экспериментальных данных по массообмену при разделении белых и красных столовых сухих вин методом блочного вымораживания проводилось в виде зависимости числа Шервуда (Sh) от числа Релея ($Ra = Gr \cdot Pr$) и двух комплексов:

$$Sh = c \cdot Ra^m \cdot \left(\frac{Sc}{Pr} \right)^{1/3} \cdot K^n. \quad (1)$$

Показатель степени в комплексе отношений чисел Шмидта и Прандтля (Sc/Pr) взят из общепринятых рекомендаций [10, 11]. В диффузионных процессах показатель степени при числе Прандтля при ламинарном режиме составляет 1/3. Влияние геометрических параметров кристаллизатора учитывается параметрической переменной K , которая определяется отношением диаметра испарителя к его высоте:

$$K = \frac{d_u}{h_u}. \quad (2)$$

Теплообмен в условиях естественной конвекции в критериальном уравнении (1) учитывается числом Грасгофа:

$$Gr = \frac{g \cdot h_n^3 \cdot \gamma_p \cdot (t_p - t_{np})}{\nu_p^2}, \quad (3)$$

где g — ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с²;

γ — температурный коэффициент объемного расширения, $\gamma = 2 \cdot 10^{-4}$ °С⁻¹;

t_{np} — температурный режим процесса, °С;

t_p — температура раствора, °С.

Изменение динамической вязкости вин (μ_p , Па·с) при отрицательных температурах подчиняется той же зависимости, как и при положительных. Вязкость зависит от строения и пространственного располо-

жения молекул, следовательно, на ее величину сильно влияют химический состав вина и температура. Зависимость $\mu_p = f(t)$, имеющая параболический характер, выражается следующим уравнением [12]:

$$\mu_p = \frac{k \cdot 10^{-3}}{1 + y \cdot t_p + z \cdot t_p^2}, \quad (4)$$

где k, y, z — эмпирические коэффициенты, зависящие от содержания в вине спирта и экстракта.

Вычисление величин коэффициентов теплопроводности вин (λ_p , Вт/(м·К)) при заданной температуре проводится по аддитивной формуле с эмпирическими коэффициентами, учитывающей зависимость λ_p^t от количественного соотношения основных компонентов вина [12]:

$$\lambda_p^t = \lambda_0 - \left(0,5 \cdot K_c + 0,307 \cdot K_9 + 0,068 \frac{\rho_p}{\rho_0} \right), \quad (5)$$

где λ_0 — коэффициент теплопроводности воды при заданной температуре, Вт/(м·К);

K_c, K_9 — концентрация в вине соответственно спирта и экстракта, доли от единицы (по массе);

ρ_p, ρ_0 — соответственно плотность вина и воды при заданной температуре, которые определяются по справочным таблицам [13], кг/м³;

$0,068 \cdot (\rho_p/\rho_0)$ — поправка на влияние неучтенных компонентов, Вт/(м·К).

Расчет удельной теплоемкости вин проводится по принципу аддитивности [14], учитывая удельные теплоемкости и массовые доли отдельных компонентов в вине:

$$C_p = a_e \cdot C_{pe} + a_{cn} \cdot C_{pcn} + a_9 \cdot C_{p9}. \quad (6)$$

При расчете числа Шмидта $Sc = \nu_p/D_p$ и числа Шервуда $Sh = (\beta \cdot h_n)/D_p$ коэффициент диффузии преобладающего в растворе компонента (D_p , м²/с) при заданной температуре определяется по уравнению:

$$D_p = \frac{273 + t_p}{293} \cdot D_{(293)} \cdot \frac{\mu_{p(293)}}{\mu_{p(t_p)}}, \quad (7)$$

где $D_{(293)}$ — диффузия преобладающего компонента в растворе при 20 °С (для этилового спирта $D_{(293)} = 1,0 \cdot 10^{-9}$ м²/с);

$\mu_{p(293)}, \mu_{p(t_p)}$ — коэффициенты динамической вязкости при температуре 20 °С и текущей соответственно, Па·с.

Важным этапом в расчетах процесса массопереноса является определение коэффициента массоотдачи (β , м/с), который характеризует скорость роста блока льда на единице поверхности кристаллизатора за единицу времени при изменении концентрации неводных компонентов в растворе на один процент:

$$\beta = \frac{L_n}{F_n \cdot \rho_p \cdot (C_{t_{kp}} - C_{t_p}^{cp})}, \quad (8)$$

где $C_{t_{kp}}$ — концентрация неводных компонентов вина при t_{kp} , кг/кг;

$C_{t_p}^{cp}$ — среднее значение концентрации неводных компонентов вина при t_p , кг/кг.

По данным табл. 1 и по формуле (8) рассчитаны значения коэффициента массоотдачи, которые представлены на рис. 1. Анализ рисунка показывает, что коэффициент массоотдачи уменьшается и с понижением температуры поверхности кристаллизатора и с повышением концентрации неводных компонентов в вине. Опытные точки сгруппированы в зависимости от температурного режима процесса вымораживания и от концентрации неводных компонентов.

В результате проведенной обработки данных получены значения чисел подобия при различных температурах поверхности испарителя (табл. 2).

В результате математической обработки массива экспериментальных данных определяли константы c, m и n в выражении (1). В результате проведенной обработки данных (рис. 2) получено уравнение в обобщенных переменных, описывающее массообмен в процессе разделения красных и белых вин методом блочного вымораживания и имеющем вероятную ошибку $\pm 8\%$. Уравнение рекомендуется для расчета интенсивности процесса вымораживания воды из вин для различных сочетаний технологических и режимных параметров в диапазоне $2,7 \cdot 10^8 \leq Ra \leq 9,3 \cdot 10^8$; $3,4 \cdot 10^3 \leq Sc \leq 14,8 \cdot 10^3$; $17,50 \leq Pr \leq 50,06$.

$$Sh = 2 \cdot 10^8 \cdot Ra^{-0,4218} \cdot \left(\frac{Sc}{Pr} \right)^{1/3} \cdot K^{1,51}. \quad (9)$$

На основе уравнений (1–9) разработан алгоритм, который позволяет находить внутренние параметры математической модели при заданной совокупности внешних (рис. 3).

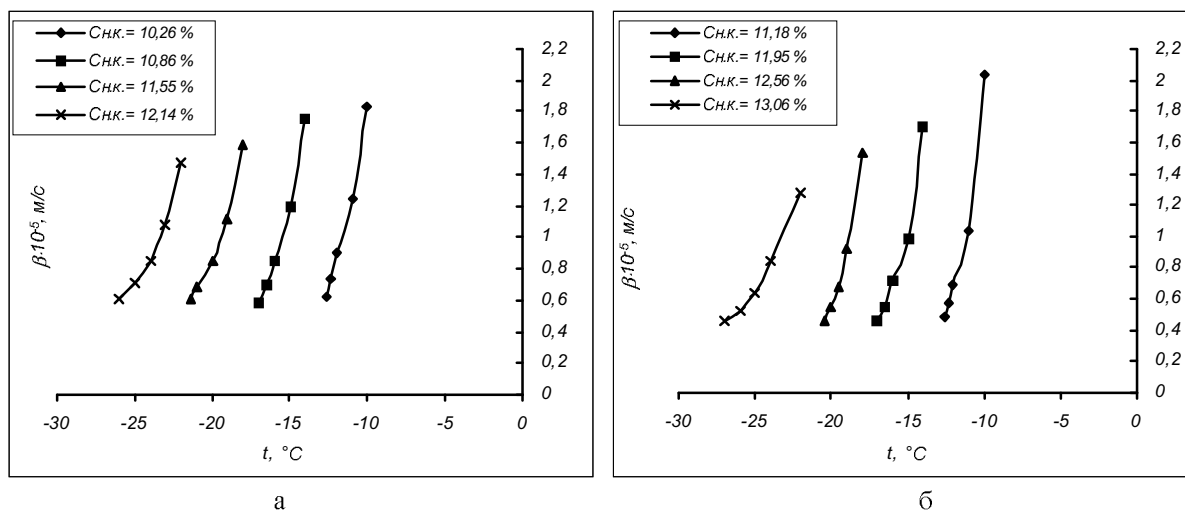


Рис. 1 – Зависимость β от температуры поверхности кристаллизатора и концентрации неводных компонентов белого (а) и красного (б) столового вина

Таблица 2 – Результаты расчетов чисел подобия для столовых сухих вин

Вино	Температура испарителя, °C	Концентрация неводных компонентов в растворе, % мас	Pr	Gr · 10 ⁻³	Sc	Ra · 10 ⁻³	Sh
Белое	-10	9,61	25,86	11879	6081	307195	6530
	-12	10,9	28,69	15122	7057	433870	2649
	-14	9,98	26,43	18599	6257	491594	7063
	-17	11,74	30,18	19595	7499	591396	2407
	-18	10,33	27,17	26356	6492	716111	6448
	-21	12,77	32,27	21305	8147	687522	2665
Красное	-22	10,54	27,93	30195	6762	843361	6064
	-26	13,73	34,35	23521	8799	807948	2678
	-10	10,74	24,61	16738	5395	411933	6860
	-12	11,62	26,04	17117	5803	445751	1670
	-14	11,34	25,32	22937	5554	580768	5941
	-17	12,55	28,24	23856	6508	673693	1759
Красное	-18	11,87	27,27	23705	6231	646436	5594
	-20	13,24	30,32	24325	7215	737562	1940
	-22	12,44	27,83	30090	6333	837417	4809
	-27	13,67	31,76	29283	7764	930049	1906

Последовательность вычислительных и логических действий, обеспечивающих решение поставленной задачи, представлена графическим способом — блок-схемой. Полученное уравнение в обобщенных переменных (9) позволяет рассчитать продолжительность процесса вымораживания в соответствии с составленным алгоритмом (рис. 3). Задавшись концентрацией неводных компонентов исходного вина C_n и концентрата C_k , объемом исходного продукта V_n , его температурой t_n , а также конструктивными параметрами установки — диаметрами стержня кристаллизатора d_u и концентратора d_k можно рассчитать:

- теплофизические характеристики вина в данный момент времени τ и при данной температуре раствора t_p : теплоемкости воды C_{pes} , спирта C_{pcn} и раствора C_p , коэффициенты динамической μ_p и кинематической ν_r вязкости, теплопроводность λ_p и температуропроводность a_r вина;
- значения чисел подобия, коэффициент массоотдачи β , площадь поверхности блока льда $F_{ли}$, массу $M_{ли}$ и объем $V_{ли}$ блока льда, диаметр блока льда $d_{ли}$;
- объем незамерзшей части вина (жидкости) $V_{жкi}$;
- концентрацию неводных компонентов в высокоалкогольной фракции C_i в данный момент времени τ и при данной температуре поверхности испарителя t_u .

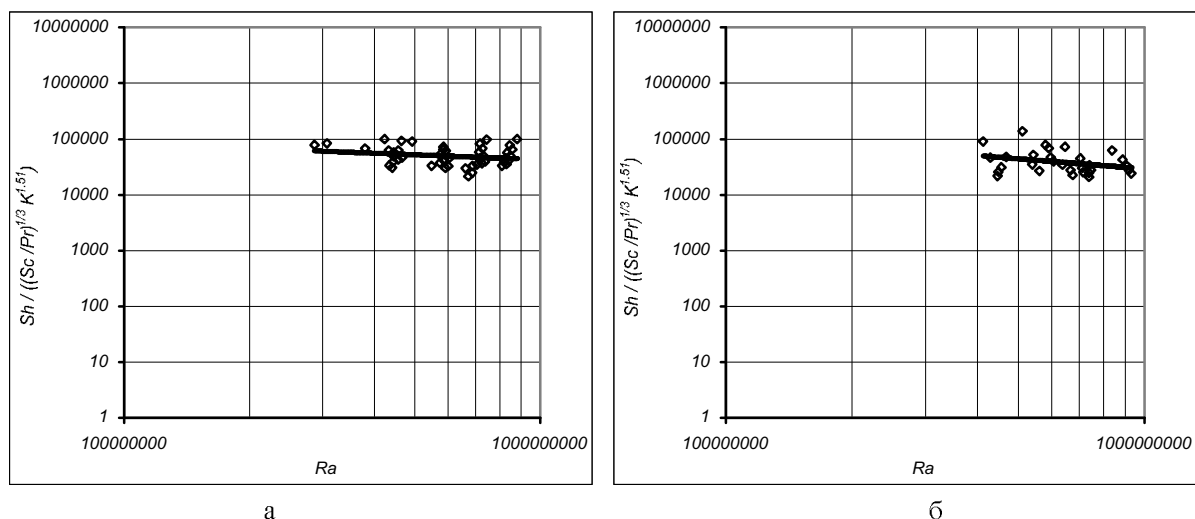


Рис. 2 – Результаты экспериментальных данных по массообмену процесса вымораживания белых (а) и красных (б) сухих вин

В случае выполнения условий $C_i = C_k$ и $t_u = t_n$ расчет считается законченным и к печати выводятся значения технологических и режимных параметров процесса вымораживания. В противном случае задается новое приближение τ (при $C_i \neq C_k$) или t_u (при $t_u \neq t_n$) и расчет повторяют до выполнения условия.

Выводы

На основании экспериментальных данных по кинетике льдообразования установлено, что формирование блока льда при разделении столовых сухих вин методом вымораживания зависит от температуры поверхности испарителя, продолжительности процесса, а также от химического состава исходного продукта. В результате выполненных экспериментальных и расчетных исследований, обоснованы режимы вымораживания столовых сухих вин. Полученное в результате обобщения экспериментальных данных по массообмену соотношение (9) может быть использовано для оптимизации режимных и конструктивных параметров вымораживающих установок. Для решения системы уравнений математического описания процесса разделения вин методом блочного вымораживания разработан алгоритм, который позволяет находить внутренние параметры математической модели при заданной совокупности внешних.

Литература

1. Сидоров В.М., Луговская О. Слабоалкогольные напитки как прекрасная альтернатива крепким спиртным напиткам // *Food & Drinks* – 2005 – № 4 – с. 94-95.
2. Филановский А. Слабоалкогольная стабилизация. Украинский рынок слабоалкогольной продукции, 2004-2005 гг. // *Food & Drinks*, 2005. – № 4. – с. 88-91.
3. Солодун А. Взгляд на Запад: о некоторых аспектах состояния современного рынка слабоалкогольных напитков Западной Европы // *Пиво и напитки*. – 2003 – № 6 – с. 8-9.
4. Буртов О.А., Разуваев Н.И. Методы концентрирования соков и вин (Обзор). – М.: ЦНИИТЭИ Пищепром, 1971. – 35 с.
5. Холодильные установки / Чумак И.Г., Чепурненко В.П. и др.; под ред. д-ра техн. наук, проф. И.Г. Чумака. – М.: Агропромиздат, 1991. – 495 с.
6. Грубы Я. Производство замороженных продуктов / Пер. с чешск., ред. и предисл. д-ра техн. наук, проф., И.Ф.Бугаенко. – М.: Агропромиздат, 1990. – 336 с.
7. Ковалевский К.А., Ксенжук Н.И., Слезко Г.Ф. Технология и техника виноделия. – Киев: Фирма «ИНКОС», 2004. – 560 с.
8. Патент 1716976 Российской Федерации. Способ получения вымораживанием концентрированных жидких пищевых продуктов / Бурдо О.Г., Горыкин С. Ф. Опубл. 29.02.92. Бюл. № 8.
9. Физико-технические основы холодильной обработки пищевых продуктов / Аверин Г.Д., Журавская Н.К., Каухчешвили Э.И. и др.; Под ред. Э.И.Каухчешвили. – М.: Агропромиздат, 1985. – 255 с.
10. Кафаров В.В. Основы массопередачи. М.: «Высшая школа», 1979. – 439 с.
11. Справочник по теплообменникам (в 2-х т.) / Пер. с англ., под ред. Б.С. Петухова. – М.: Энергопромиздат, 1987. – 560 с.

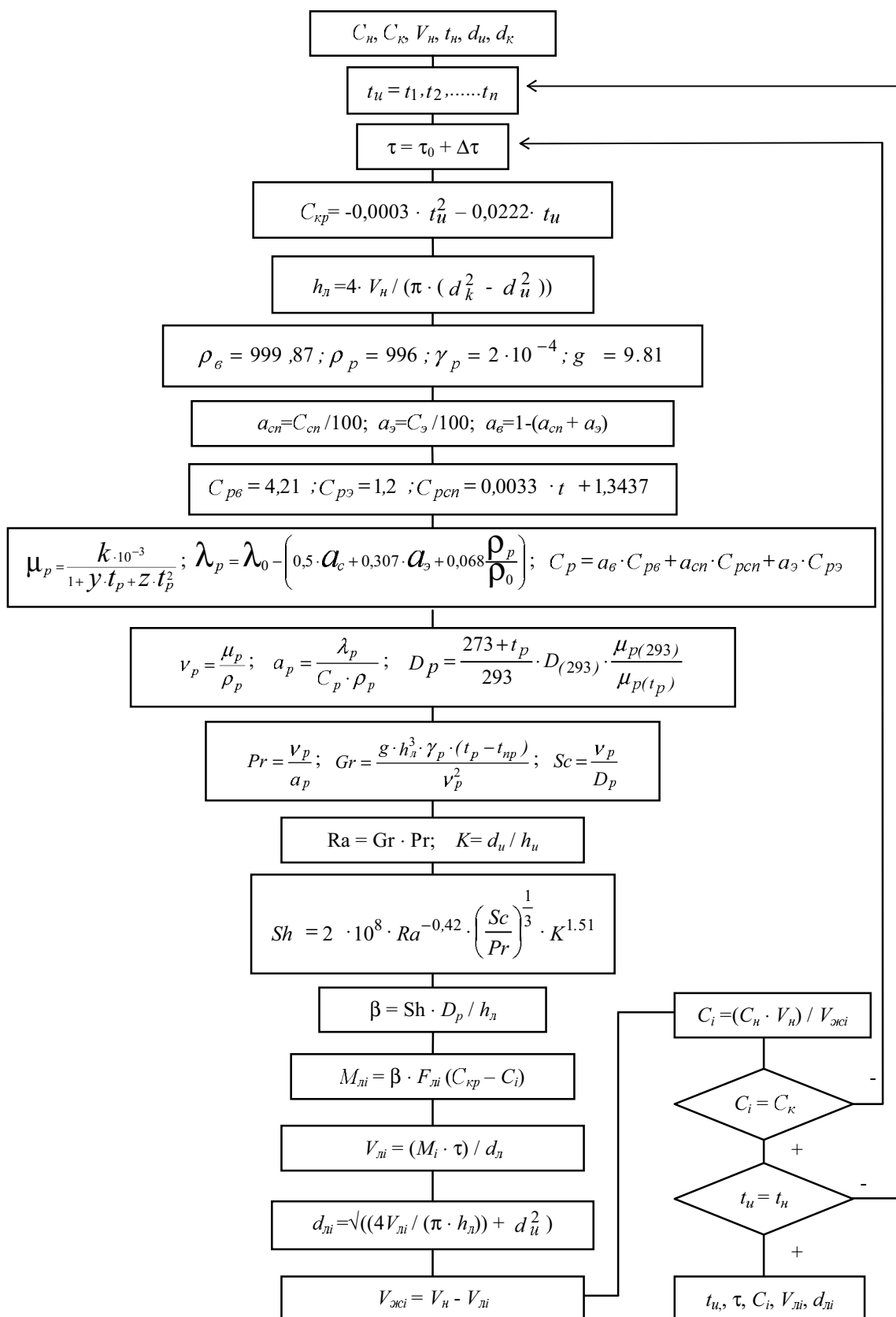


Рис. 3 – Блок-схема расчета продолжительности процесса вымораживания столовых сухих вин

12. Лабораторный практикум по курсу «Технология вина»/ А.А. Мержаниан, В.Ф. Монастырский, И.Б. Платонов и др.; под ред. А.А.Мержаниана. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 216 с.
13. Аношин И.М., Мержаниан А.А. Физические процессы виноделия. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 376 с.
14. Радионова О.В., Осипова Л.А., Бурдо О.Г. Балансовые модели при разделении виноматериалов вымораживанием // Холодильная техника и технология. – 2005. – № 5 (97). – с. 105-108.

УДК 664:613.2:006.015.8

АНАЛІЗ ВПЛИВУ РІЗНИХ СПОСОБІВ ОХОЛОДЖЕННЯ НА ПОКАЗНИК рН М'ЯСА

Савінок О.М., канд. техн. наук, доцент,
Титлов О.С., д-р. техн. наук, професор, Рибак В.В., студент
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса
Ацо Кузелов, професор
Університет Гоце Делчев, р. Македонія, м. Штип

Досліджена можливість використання мінусових температур при початковому охолодженні м'ясних напівтуш.

Possibility of the use of negative temperatures is investigational at the initial cooling of meat semicarasses.

Ключові слова: автоліз, рН м'яса, дозрівання м'яса, шокове охолодження.

Постановка проблеми в загальному вигляді і її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями. Якість м'яса, як відомо, лабільна в часі і залежить від різних факторів, Одним із яких є початкова холодильна обробка туш. В практиці переробки м'ясної сировини використовують одно-, дво-, трьохстадійне охолодження з використанням широкого інтервалу температур.

В останні роки дуже популярне «шокове охолодження», яке передбачає обробку на першому етапі при мінусових температурах, яке використовується, як правило, для обробки свинини. Рекомендуються до використання температури від мінус 4 до мінус 22 °С. Авторів подібних розробок, в першу чергу, цікавить можливість скоротити втрати при охолодженні та дозріванні. А данні про характер змін функціональних властивостей м'яса яловичини, охолодженого цим способом, під час подальшого дозрівання практично відсутні. Тому практичний інтерес представляють дослідження в цьому напрямку.

Формулювання мети досліджень. Основною метою даних досліджень є вивчення кінетики змін температури та показника рН м'яса яловичини породи симентал в різних анатомічних частинах туші при використанні шокового охолодження. Для об'єктивної оцінки процесів, які відбуваються в сировині під час охолодження, ліві половини туш яловичини обробляли за режимами регламентованими документацією підприємства, праві — за режимами «шокового охолодження».

Режими охолодження за схемою підприємства:

а) початкове — при температурі 4 °С; швидкості руху повітря — 0,5...1,0 м/с; відносній вологості повітря — 90 %; упродовж 16 годин до температури в центрі тазостегнової частини 10,5...11,5 °С;

б) доохолодження та дозрівання — при температурі — 1...2 °С; швидкості руху повітря — 0,5...1,0 м/с; відносній вологості повітря — 90 %; до температури в центрі тазостегнової частини не більше — 4 °С.

Використані режими «шокового охолодження»:

а) початкове — при температурі 6...8 °С; швидкості руху повітря — 0,5...1,0 м/с; відносній вологості повітря — 90 %; упродовж 1,5 години до температури в центрі тазостегнової частини 38,0...39,0 °С;

б) низькотемпературне — при температурі мінус 23 °С; швидкості руху повітря — 0,5...1,0 м/с; відносній вологості повітря — 23 %; упродовж 2,5 годин до температури в центрі передніх та задніх кінцівок — 1,1...1,5 °С, в центрі тазостегнової частини — 28,0...28,4 °С;

в) доохолодження та дозрівання — при температурі мінус 1... плюс 2 °С; швидкості руху повітря — 0,5...1,0 м/с; відносній вологості повітря — 90 %; до температури в центрі тазостегнової частини не більше 4 °С.

Загальна тривалість дозрівання склала 5 діб.