

РАДИОНОВА О.В., канд. техн. наук, ОСИПОВА Л.А., д-р. техн. наук,
 БУРДО О.Г., д-р. техн. наук, професор

Одесская национальная академия пищевых технологий

КРИОСКОПИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТОЛОВЫХ СУХИХ ВИНОГРАДНЫХ ВИНМАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ БЛОЧНОГО ВЫМОРАЖИВАНИЯ

Представлены материальные и энергетические балансы процесса вымораживания воды из виноградных виноматериалов, обеспечивающие эффективную реализацию комплексной технологии разделения. Определены экспериментально зависимости значений криоскопических температур от концентрации отдельных компонентов. Предложены регрессионные модели для расчета криоскопических температур виноматериалов. Показана связь между отдельными параметрами при криоконцентрировании виноматериалов. Предложена диаграмма фазового равновесия столовых сухих вин.

Ключевые слова: столовые сухие виноградные виноматериалы, блочное вымораживание, криоскопическая температура, модельный раствор, спирт, экстракт, энтальпия.

Material are introduced and energy balances of process of freezing out of water from the grape wine stock, providing effective embodying of complex production engineering of partitioning. Dependences of values of cryoscopic temperatures are certain experimentally on the concentration of separate components. Are tendered regressions to model for calculation of cryoscopic temperatures of wine stocks. Communication between separate arguments is demonstrated at cryoconcentrating of wine stocks. The phase diagram of table dry wines is tendered.

Keywords: dining-rooms are dry vine vinomaterialy, sectional freezing, cryoscopic temperature, model solution, alcohol, extract, ental'piya.

Современный этап развития технологий характеризуется широчайшим использованием холода в различных отраслях пищевой промышленности, и в первую очередь, в области консервирования сырья и продуктов питания, а также концентрирования жидких пищевых продуктов, потребность в которых непрерывно растет. Воздействие холода на любые биологические объекты является предметом изучения многочисленных специалистов [1-5]. Вместе с тем необходимо отметить, что до настоящего времени издано весьма ограниченное число работ по концентрированию виноматериалов вымораживанием, в которых на достаточно широкой информационной основе давались бы обобщенные результаты исследований.

Способ вымораживания основан на том, что температура замерзания водного раствора всегда ниже температуры замерзания чистой воды. Поэтому при понижении температуры в первую очередь замерзает вода, в результате чего образуются жидкость более высокой концентрации и кристаллы льда. Образование кристаллов льда происходит при криоскопической температуре, т.е. температуре, при которой начинается выделение кристаллов льда без переохлаждения. При вымораживании одновременно с повышением концентрации раствора происходит диффузия молекул воды и растворенных частиц. В связи с этим на определенном этапе вымораживания устанавливается равновесие, при котором скорость увеличения концентрации раствора становится равной скорости ее понижения за счет диффузии частиц. После установления такого равновесия дальнейшее понижение температуры уже не приводит к росту концентрации, поэтому в этот момент производят отделение кристаллов льда от концентрата [1, 2, 4].

Распределение в потоках температуры, составов и связанных с ними свойств характеризуется уравнениями баланса масс и энергии. Описание процессов массо- и теплообмена относится к уравнениям «элементарных» процессов. При моделировании процесса разделения виноматериалов вымораживанием необходимо принимать во внимание объективно существующие ограничения на диапазон изменения ряда параметров, т.е. должно выполняться условие, что сумма концентраций всех компонентов равна 1. Также необходимо иметь в виду, что концентрация любого компонента может быть только положительной величиной, заключенной между 0 и 1 [6].

Для эффективной реализации комплексной технологии разделения столовых сухих виноградных виноматериалов на низко- и высокоалкогольную фракции рассчитывали материальные и энергетические балансы процесса.

При составлении системы независимых уравнений материальных балансов пользовались принципами математического моделирования химико-технологических систем [7]. Столовый сухой виноматериал в процессе вымораживания представлен как система трех компонентов: вода (B), лёд (L) и комплекс неводных компонентов (C), в который входят спирт и экстракт [8, 9]. Постановка задачи приведена на рис. 1.

сходный поток виноматериала F характеризуется равенством:

$$F_B + X_{FC} = 1, \quad (1)$$

где X_{FB} – доля воды; X_{FC} – доля комплекса экстрактивных веществ и спирта.

Выходной физический поток D (криоконцентрат) также содержит эти компоненты. В результате процесса разделения образуется новая твердая фаза W .

Уравнение материального баланса по общим массовым расходам потоков:

$$F - D - W = 0 \quad (2)$$

Уравнение материального баланса по массовым расходам отдельных компонентов потоков:

$$F \cdot X_{FB} - D \cdot X_{DB} - W \cdot X_{WB} - W \cdot X_{WL} = 0 \quad (3)$$

$$F \cdot X_{FC} - D \cdot X_{DC} - W \cdot X_{WC} = 0 \quad (4)$$

$$W \cdot X_{WL} = \omega \cdot F \cdot X_{FB}, \quad (5)$$

где ω – доля вымороженной воды.

Уравнения состава физических потоков:

$$X_{DB} + X_{DC} = 1 \quad (6)$$

$$X_{WB} + X_{WL} + X_{WC} = 1 \quad (7)$$

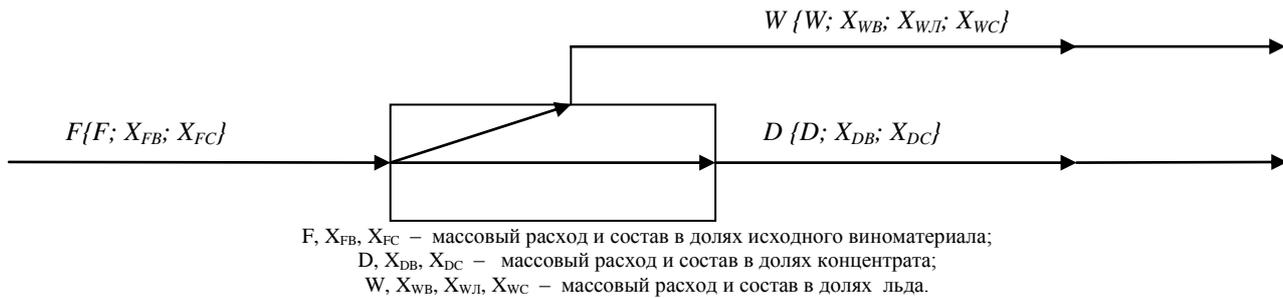


Рис. 1. Технологический оператор разделения компонентов В, С, Л

Уравнения материального баланса представляют собой систему с 11 неизвестными: $F; D; W; X_{FB}; X_{FC}; X_{DB}; X_{DC}; X_{WB}; X_{WL}; X_{WC}$. В системе (1) ... (7) шесть уравнений являются независимыми.

В расчете энергетических характеристик процесса вымораживания воды из столовых сухих виноматериалов важным этапом является определение удельных затрат, т.е. оценка величины изменения энтальпии.

Процессы охлаждения (нагрева) исходного виноматериала рассчитываются по уравнению теплового баланса. Удельная теплота охлаждения вплоть до значения криоскопической температуры определяется теплоемкостью раствора и величиной изменения температуры от начального значения (t_0) [4]:

$$q_{ox} = \Delta i_{ox} = C_p \cdot (t_0 - t_{кр}), \quad (8)$$

где C_p – удельная теплоемкость виноматериала, кДж/кгК; $t_{кр}$ – криоскопическая температура, °С.

Вместо $t_{кр}$ может быть любое значение температуры, причем $t > t_{кр}$.

Удельная теплоемкость виноматериала C_p – важный в практическом отношении физический показатель, применяемый в расчетах тепловых процессов и соответствующих аппаратов. Расчет C_p проводят по принципу аддитивности [9], учитывая удельные теплоемкости и массовые доли отдельных компонентов в смеси.

$$C_p = a_w \cdot C_{pw} + a_c \cdot C_{pc} + a_s \cdot C_{ps}, \quad (9)$$

где a_w, a_c, a_s – соответственно массовые доли воды, спирта и экстрактивных веществ в растворе;

C_{pw}, C_{pc}, C_{ps} – соответственно удельные теплоемкости этих компонентов, кДж/кгК.

В результате аппроксимации известных литературных данных [3, 10, 11] получены регрессионные модели для расчета изобарных теплоемкостей компонентов:

$$C_{pw} = 4,21 - 0,16 \cdot 10^{-2} \cdot t + 0,17 \cdot 10^{-4} \cdot t^2, \quad (10)$$

где t – температура воды, °С.

$$C_{pc} = 0,0033 \cdot t + 1,3437, \quad (11)$$

где t – температура спирта, °С.

Удельная изобарная теплоемкость сухих веществ (комплекса экстрактивных компонентов) по рекомендациям [12] принята $C_{ps} = 1,2$ кДж/кгК.

В случае частичного перехода воды в твердую фазу следует учесть расход энергии непосредственно на кристаллизацию [4]:

$$q_{кр} = \Delta i_{кр} = \omega \cdot \Omega, \quad (12)$$

где Ω – удельная теплота кристаллизации (для воды $\Omega = 335$ кДж/кг).

Если в процессе вымораживания происходит переохлаждение льда, экстрактивных компонентов ниже криоскопической температуры, то следует учесть расход энергии на переохлаждение [4]:

$$q_{no} = \Delta i_{no} = \omega \cdot C_{pl} \cdot (t_k - t_{кр}) \quad (13)$$

Удельную изобарную теплоемкость льда C_{pl} в диапазоне температур от 0 до -30 °С, где теплоемкость меняется наиболее сильно, можно рассчитать по соотношению [10]:

$$C_{pl} = 0,0175 \cdot t + 2,25 \quad (14)$$

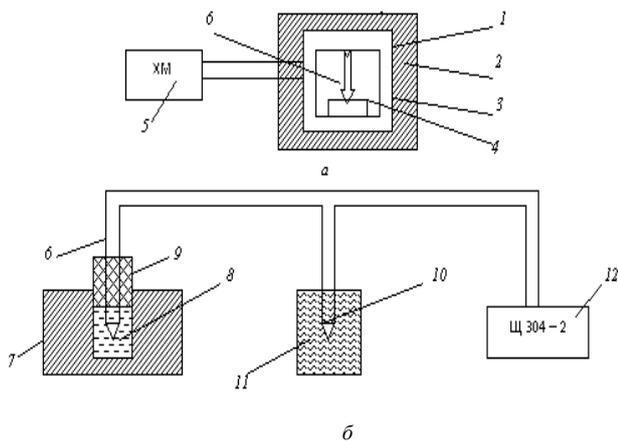
Приведенные соотношения (1...14) позволяют рассчитать статические характеристики процесса разделения столовых сухих виноматериалов вымораживанием.

Решение задачи тепломассопереноса при разделении столовых сухих виноматериалов методом блочного вымораживания требует знания фазовых равновесий в системе «лед – виноматериал». Поскольку для столовых сухих виноматериалов эти сведения отрывочны или отсутствуют, проведены исследования по их изучению.

Столовые сухие виноградные виноматериалы – это сложная система, в которую входят вода, спирт и комплекс экстрактивных веществ, представляющий собой суммарную концентрацию всех растворенных в вине нелетучих веществ, включая углеводы, глицерин, нелетучие кислоты, азотистые соединения, фенольные, в т.ч. красящие вещества, высшие спирты, минеральные вещества [13, 14].

Вода, как основной компонент столовых виноградных виноматериалов, представляет собой непрерывную фазу, в которой компоненты химического состава распределены в виде истинных растворов. Условия фазового равновесия такой системы зависят от совместного действия всех ее составляющих. Эти факторы определяют физические свойства воды и процесса ее вымерзания. Содержание в воде веществ, образующих с ней истинный раствор, обуславливает изменение ее характерных свойств: снижение криоскопической температуры, повышение температуры кипения и снижение давления водяного пара над раствором [2, 10].

Исследования криоскопических условий столовых сухих виноматериалов в зависимости от их химического состава проводили термпарным методом на экспериментальном стенде, созданном на кафедре



а) принципальная схема стенда; б) схема рабочей ячейки и системы измерения;

- 1 – корпус криостата; 2 – тепловая изоляция; 3 – испаритель холодильной машины; 4 – рабочая ячейка; 5 – холодильная машина; 6 – термопара; 7 – металлический блок с цилиндрической емкостью для продукта; 8 – продукт; 9 – пробка из теплоизоляционного материала; 10 – холодный спай; 11 – сосуд Дьюара; 12 – милливольтметр цифровой.

Рис. 2. Схема экспериментальной установки для криоскопических измерений

«Процессы и аппараты» ОНАПТ. Экспериментальный стенд представляет собой криостат, в котором размещена рабочая ячейка с продуктом и термопарой. Термопара вмонтирована в капилляр из нержавеющей стали толщиной 0,75 мм и помещена в центре ячейки. Ячейка выполнена из массивного блока теплопроводного материала, что позволяет сглаживать пульсации температуры в камере криостата. Надежная теплоизоляция наружной поверхности криостата, чехла термопары, термостабилизация холодного спаи гарантировали необходимую точность экспериментальных данных. Градуировка стенда предусматривала опыты на дистиллированной воде, что позволяло корректно определять нулевую точку. Регистрация разности ЭДС (электродвижущей силы) между термопарой в рабочей ячейке и холодным спаем проводилась с по-

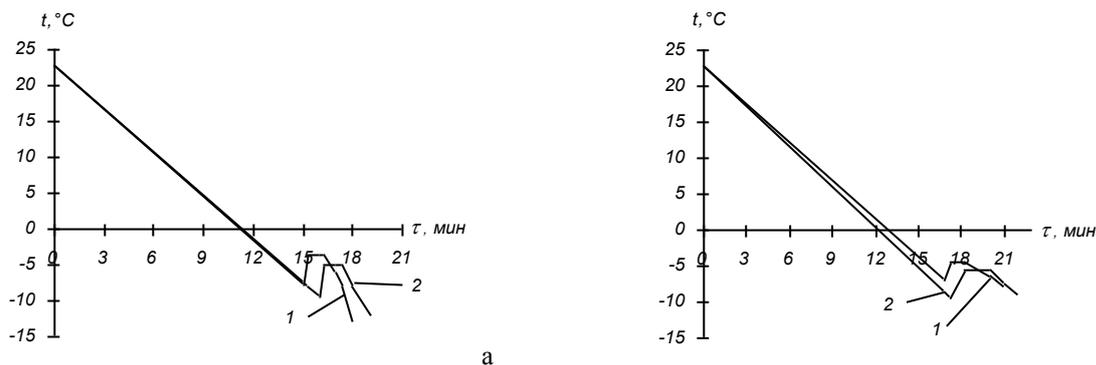
чтобы она находилась в середине слоя жидкости. Для этого термопару закрепляли по центру пробки из теплоизоляционного материала. Ячейку размещали в середине криостата, при этом место ее расположения являлось постоянным для всех исследований. В процессе охлаждения рабочей ячейки с раствором в криостате снимали показания цифрового милливольтметра. По градуировочному графику, полученному экспериментальным путем, переводили значения температур из милливольтов (mV) в градусы Цельсия.

Для проведения повторных измерений давали раствору в ячейке полностью оттаять, после чего ячейку с новой пробой модельного раствора вновь устанавливали в корпус криостата и повторяли опыт. Для получения достоверных данных экспериментальные исследования криоскопических точек отдельных растворов определенных концентраций проводили в трех повторностях. Результаты, отличающиеся от среднего арифметического всех повторных измерений более чем на 0,25 °С, браковали и проводили новый опыт. За окончательный результат принимали среднее арифметическое из сопоставимых значений.

Типичный вид температурных кривых, полученных при исследовании столового белого и красного виноматериалов, приведен на рис. 3. Совокупность точек с постоянной во времени температурой характеризует криоскопические условия.

Для расчета значения криоскопической температуры смеси, состоящей из нескольких компонентов, была выдвинута гипотеза, предполагающая применить принцип аддитивности криоскопических температур отдельных компонентов ($t_{кр1}, t_{кр2} \dots t_{крn}$) с учетом доли каждого из компонентов ($a_1, a_2 \dots a_n$):

Для подтверждения справедливости рабочей гипотезы, а также для обоснования универсальной методики расчета значений криоскопических температур для сухих виноматериалов с разным составом выявляли зависимость значений криоскопических температур от химического состава модельных растворов: «вода – спирт», «вода – экстракт» и «вода – спирт



а) белый столовый виноматериал; б) красный столовый виноматериал.

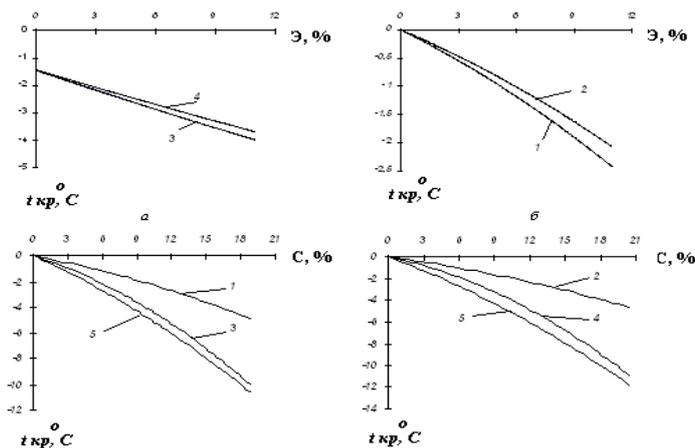
- 1 – вино с массовой долей этилового спирта 7,2 %; 2 – вино с массовой долей этилового спирта 9,64 %

Рис. 3. Температурные кривые столовых сухих виноматериалов с разным содержанием спирта

мощью цифрового милливольтметра Щ 304 – 2.

Для проведения исследования криоскопических условий готовили модельные растворы белых и красных столовых сухих виноматериалов с определенной массовой концентрацией спирта и экстракта. В рабочую ячейку отбирали пробу модельного раствора в количестве 2 см³ и размещали в ней термопару так,

– экстракт» (рис. 4, табл. 1).



а) от экстрактивности модельных растворов с массовой долей этилового спирта 3,18 %; б) от экстрактивности модельных растворов, не содержащих этиловый спирт; в) от концентрации неводных компонентов для белых сухих вин; г) от концентрации неводных компонентов для красных сухих вин;

1 – раствор «вода – экстракт белого виноматериала»; 2 – раствор «вода – экстракт красного виноматериала»; 3 – белый столовый виноматериал; 4 – красный столовый виноматериал; 5 – раствор «вода – спирт» C – концентрация неводных компонентов, %; Э – массовая доля экстрактивных веществ, %.

Рис. 4. Зависимость криоскопических температур от концентрации неводных компонентов

Таблица 1
Диапазон экспериментальных исследований

Параметр	Диапазон изменения показателя	
Массовая доля экстракта, %	белых виноматериалов	красных виноматериалов
Массовая доля этилового спирта, %	0...7	0...11
Криоскопическая температура, °С	0...-24,6	0...-20,3

Исследовалось влияние экстрактивных веществ, содержащихся в сухом белом и красном виноматериале. Считалось, что виноматериал – это смесь трех компонентов: воды, спирта и комплекса экстрактивных веществ. Всего было получено по 11 точек для разных сочетаний воды, экстрактивных веществ и спирта в модельных растворах белых и красных сухих виноматериалов.

Анализ рис. 4 показывает, что при постоянной концентрации спирта и разной экстрактивности, а также для растворов, не содержащих этиловый спирт с разной экстрактивностью значения криоскопической температуры для красных виноматериалов меньше, чем для белых. Т.е. при одинаковых условиях криоскопическая линия красных виноматериалов расположена выше криоскопической линии белых.

Результаты расчетных методов определения $t_{кр}$ могут быть признаны достоверными и пригодными для решения поставленной задачи только после обоснования их равнозначности (односторонности) со «стандартной» величиной, которой являются значения $t_{кр}$ опытного определения показателя.

На основании сделанного вывода был проведен сравнительный анализ экспериментальных значений $t_{кр}$ с расчетными зна-

чениями $t_{кр}$ по предложенной модели (14), результаты которого приведены в таблице 2.

В таблице 2 приняты обозначения: $C_{н.к.}$ – концентрация неводных компонентов в растворе, %; a_1 – доля спирта в неводной части раствора; a_2 – доля экстракта в неводной части раствора; $t_{кр1}$ – криоскопическая температура, определенная экспериментальным путем, °С; $t_{кр2}$ – криоскопическая температура, определенная расчетным путем по модели (15), °С.

Для расчета криоскопических температур водных растворов отдельных компонентов на основе полученной базы экспериментальных данных рекомендуются соответствующие регрессионные модели.

Для системы «вода – спирт»:

$$t_{крс} = -0,0062 \cdot C_{н.к.}^2 - 0,3142 \cdot C_{н.к.} \quad (16)$$

Для системы «вода – экстрактивный комплекс белых вин»:

$$t_{крб} = -0,0049 \cdot C_{н.к.}^2 - 0,1684 \cdot C_{н.к.} \quad (17)$$

Для системы «вода – экстрактивный комплекс красных вин»:

$$t_{крк} = -0,0041 \cdot C_{н.к.}^2 - 0,1436 \cdot C_{н.к.} \quad (18)$$

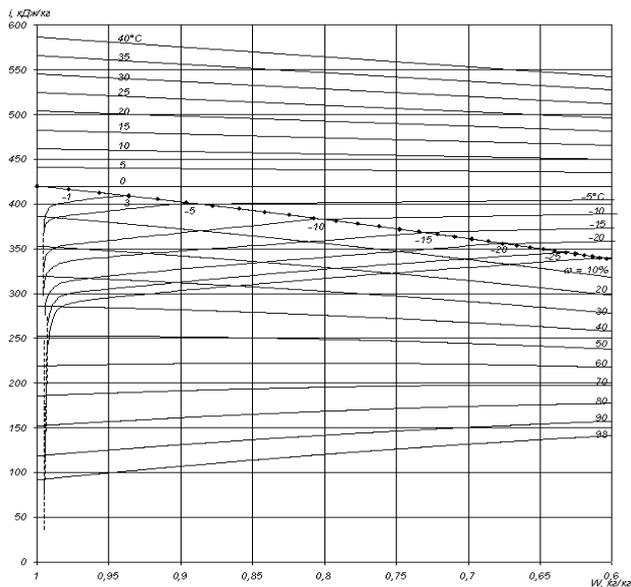
Соотношения (16-18) получены при обработке массивов экспериментальных данных с применением стандартных прикладных программ приложения Excel.

Проведенные исследования показали, что отклонения между расчетными и экспериментальными данными не превышают 5 %.

Следовательно, модель (15-18) корректно описывает как белый, так и красный виноматериал в диапазоне концентрации неводных компонентов 0...20 % и рекомендована для практического применения.

Таблица 2
Сравнительный анализ экспериментальных и расчетных значений криоскопических температур модельных растворов сухих виноматериалов

Наименование модельного раствора	Массовая доля в растворе, %		$C_{н.к.}$, %	a_1	a_2	$t_{кр1}$, °С	$t_{кр2}$, °С	
	спирта	экстракта						
Белый	3,18	1	4,18	0,761	0,239	-1,65	-1,6	
		3	6,18	0,515	0,485	-2,1	-2,05	
		5	8,18	0,389	0,611	-2,6	-2,55	
Красный	3,18	1	4,18	0,761	0,239	-1,6	-1,5	
		3	6,18	0,515	0,485	-2,0	-1,95	
		5	8,18	0,389	0,611	-2,5	-2,4	
Белый	0	1,9	1,90	0,00	1,000	-0,4	-0,35	
			2,38	4,28	0,556	0,444	-1,4	-1,4
			4,78	6,68	0,716	0,284	-2,5	-2,6
			7,2	9,10	0,791	0,209	-3,8	-3,9
			9,64	11,54	0,835	0,165	-5,1	-5,25
			12,09	13,99	0,864	0,136	-6,35	-6,75
			14,56	16,46	0,885	0,115	-8,3	-8,35
17,04	18,94	0,899	0,100	-10,1	-10,1			
Красный	0	3,5	3,50	0,00	1,00	-0,6	-0,55	
			2,38	5,88	0,405	0,595	-1,75	-1,65
			4,78	8,28	0,577	0,423	-2,8	-2,85
			7,2	10,70	0,673	0,327	-4,35	-4,2
			9,64	13,14	0,734	0,266	-5,6	-5,6
			12,09	15,59	0,776	0,224	-7,3	-7,2
			14,56	18,06	0,806	0,194	-9,05	-8,9
17,04	20,54	0,829	0,171	-10,9	-10,7			



i – удельная энтальпия, кДж/кг; *W* – влагосодержание вин, кг/кг;
 ω – содержание вымороженной воды (льда),
 отнесенное к общему количеству воды, %.

Рис. 5. *i*-*W* – диаграмма для столовых сухих вин

Связь между отдельными параметрами при разделении столовых сухих вино материалов (белых и красных) вымораживанием представлена *i* – *W* – диаграммой, изображенной на рис.5.

Диаграмма построена на основе справочных [3, 10÷12, 15], экспериментальных [17] и расчетных данных и позволяет определить температуру, до которой необходимо охладить вино материал, чтобы достичь заданной концентрации неводных компонентов (спирта и экстрактивных веществ). Данная диаграмма позволяет также определять энтальпию вино материала, температуру замерзания и количество вымороженной воды при разных температурах продукта. На диаграмму нанесены следующие линии: вертикальные линии постоянного влагосодержания, параллельные оси ординат (*W* = const); горизонтальные линии постоянной энтальпии (*i* = const), проходящие параллельно оси абсцисс; кривые ω , отражающие процент вымороженной воды; линии постоянных температур (изотермы).

При расчетах криоскопических условий используют линию $\omega = 0$. Эта линия показывает температуры начала за-

мерзания при различных значениях влагосодержания вино материала. Для определения температуры замерзания вино материала с известной концентрацией неводных компонентов (спирта и комплекса экстрактивных веществ) или влагосодержанием, находят точку пересечения линий $\omega = 0$ и вертикальной линии, отражающей значение влагосодержания.

С помощью диаграммы можно также рассчитать количество вымороженной воды ω , отнесенное к общему количеству воды. Для этого находят точку пересечения вертикальной линии, отражающей влагосодержание или концентрацию неводных компонентов, и линии температуры продукта (изотермы).

В результате аппроксимации расчетных данных получена регрессионная модель, позволяющая определить значение энтальпии в диапазоне $t < t_{кр}$ для разного количества вымороженной воды.

$$i = -93,786 \cdot W^2 + a \cdot W + 159,17 \quad (19)$$

где *a* – коэффициент, зависящий от доли вымороженной воды из вино материала.

Значения коэффициента *a* приведены в таблице 3 в зависимости от количества вымороженной воды ω , применяя линейное интерполирование.

Таблица 3
 Значения коэффициента *a* в зависимости от доли вымороженной воды

Доля вымороженной воды ω , %	<i>a</i>	Доля вымороженной воды ω , %	<i>a</i>
10	321,15	60	153,65
20	287,65	70	120,15
30	254,15	80	86,647
40	220,65	90	53,147
50	187,15	98	26,347

Предложенная модель (19) обеспечивает достаточно высокую точность значений показателя *i* в зависимости от количества вымороженной воды при рассмотрении столовых сухих вино материалов как системы состоящей только из спирта, экстракта и воды. С помощью энтальпийной диаграммы можно с достаточной для технических расчетов точностью определить изменение основных теплофизических свойств столовых вино материалов.

Поступила 08.2010

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Головкин Н.А. Холодильная технология пищевых продуктов. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1984. – 240 с.
- Постольски Я., Груда З. Замораживание пищевых продуктов. – М.: Пищевая пром-сть, 1978. – 608 с.
- 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.
- Холодильная техника и технология / Под ред. А.В. Ручко. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 286 с.
- Холодильные установки / Чумаков И.Г., Чепурненко В.П. и др.; Под ред. д-ра техн. наук, проф. И.Г. Чумака. – М.: Агропромиздат, 1991. – 495 с.
- Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. – М.: «Высшая школа», 1991. – 400 с.
- Кафаров В.В. Принципы математического моделирования химико-технологических систем / В.В. Кафаров, В.Л. Перов, В.П. Мешалкин. – М.: «Химия», 1974. – 344 с.
- Кишковский З.Н., Мерджаниан А.А. Технология вина. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1984. – 504 с.
- Лабораторный практикум по курсу «Технология вина» / А.А. Мерджаниан, В.Ф. Монастырский, И.Б. Платонов и др.; под ред. А.А. Мерджаниана. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 216 с.
- Фролов С.В. Тепло- и массообмен в расчетах процессов холодильной технологии пищевых продуктов / С.В. Фролов, В.Е. Кудачкова, В.Л. Клипис. – М.: «Колос-Пресс», 2001. – 144 с.
- Чижов Г.Б. Теплофизические процессы в холодильной технологии пищевых продуктов. – М.: Пищевая пром-сть, 1971. – 304 с.
- Грубы Я. Производство замороженных продуктов: Пер. с чешск., ред. и предисл. д-ра техн. наук, проф. И.Ф. Бугаенко. – М.: Агропромиздат, 1990. – 336 с.
- Валуйко Г.Г. Технология виноградных вин. – Симферополь: «Таврида», 2001. – 624 с.
- Валуйко Г.Г. Биохимия и технология красных вин. – М.: Пищевая пром-сть, 1973. – 296 с.
- Кавецкий Г.Д., Васильев Б.В. Процессы и аппараты пищевой технологии. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 2000. – 551 с.
- Лоншин М., Мерсон Р. Основные процессы пищевых производств / Пер. с англ. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983. – 384 с.
- Радионова О.В., Осипова Л.А., Бурдо О.Г. Фазовые равновесия при криоконцентрировании вино материалов. – Холодильная техника и технология, 2005, № 3 (95). – стр. 67–71.