

УДК 664.8.037.5

Исследование процесса циклического концентрирования вишневого сока вымораживанием

Канд. техн. наук В. Ю. ОВСЯННИКОВ¹, Я. И. КОНДРАТЬЕВА²,
Н. И. БОСТЫНЕЦ, А. Н. ДЕНЕЖНАЯ

¹ows2003@mail.ru, ²yanchyk_@mail.ru

Воронежский государственный университет инженерных технологий
394036, г. Воронеж, пр. Революции, 19

Исследованы основные закономерности процесса концентрирования вишневого сока способом вымораживания. Установлено, что к основным факторам, влияющими на процесс вымораживания, относится температура кипения ($-17\text{ }^{\circ}\text{C}$) хладагента в испарителе вымораживающей установки, площадь поверхности теплообменных элементов, отнесенной к единице полезного объема аппарата, расхода сока, подаваемого в аппарат и начальное содержания сухих веществ в исходном соке ($\sim 12,0\%$). Показано, что с уменьшением температуры кипения хладагента в испарителе вымораживающей установки удельное количество вымороженного льда монотонно увеличивается, вследствие перехода значительного количества свободной воды в твердую фазу из-за высоких значений температурного напора между циркулирующим соком и теплообменной поверхностью установки. Изменение величины удельного количества вымороженного льда от расхода вишневого сока ($2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$) и начального содержания сухих веществ ($12,4\%$) в нем, носит выраженный нелинейный характер. Установлено, что при увеличении удельной площади поверхности теплообменных элементов удельные затраты энергии на вымораживание 1 кг льда прямо пропорционально повышаются, достигая максимальной величины при максимальной удельной площади поверхности теплообменных элементов $f = 127 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Выявлено, что наибольшие затраты энергии требуются на вымораживание сока с минимальным начальным содержанием сухих веществ. Полученные сведения будут весьма полезны при оценке и прогнозировании как режимов вымораживания вишневого сока с различным содержанием сухих веществ, так и затрат энергии на проведение тепловой обработки процесса концентрирования.

Ключевые слова: вишневый сок, концентрирование вымораживанием, лед, хладагент, концентрация, теплообменные элементы.

Batch-wise process of cherry juice freeze concentration

Ph. D. V. YU. OVSYANNICOV¹, I. I. KONDRATEVA²,
N. I. BOSTYNETS, A. N. DENEZHNAJA

¹ows2003@mail.ru, ²yanchyk_@mail.ru

Voronezh State University of Engineering Technologies
394036 Voronezh, Russia

Basic laws of the cherry juice freeze concentration process are investigated. It is established that the basic factors influencing the process of freezing are: the boiling point of refrigerant in the freezing unit ($-17\text{ }^{\circ}\text{C}$), surface area of heat exchange elements to the unit of the working volume of the unit, the juice flow rate and initial content of dry matter in the original juice. It is shown that with the decrease of the refrigerant boiling point in the vaporizer of the freezing unit specific quantity of the ice frozen out increases monotonically due to the transition of a significant quantity of free water into the solid phase because of the high temperature difference between the circulating juice and the heat exchange surface of the unit. A specific quantity of the ice frozen out with an increase in the specific surface area of heat exchange elements to $72,0 \dots 75,0 \text{ м}^2/\text{м}^3$ increases to a certain value also, then it decreases to the maximum values of the compressor refrigerating power. A change in the value of a specific quantity of the ice frozen out depending on the cherry juice flow rate ($2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$) and the initial content of dry matter in it ($12,4\%$) is of nonlinear nature also. The influence of the investigated factors on the energy consumption at moisture freezing out is analyzed. It is found out that with an increase in the specific surface area of heat exchange elements the specific energy consumption to freeze out 1 kg ice increases directly proportionally, reaching maximum value at the maximum specific surface area of heat exchange elements ($f = 127 \text{ м}^2/\text{м}^3$). The greatest energy consumption is found to be when a juice with the minimum initial content of dry matter is frozen out. The obtained information is of great importance for estimation and prediction of both the regimes of freezing cherry juice with different content of dry matter and the energy consumption for the heating of the concentration process.

Keywords: cherry juice, freeze concentration, ice, refrigerant, concentration, heat transfer elements.

В настоящее время плодовые соки являются повседневным продуктом на столе россиян. К их числу принадлежит и вишневый сок, содержащий в своем составе сложный комплекс биологических веществ, необходимых для полноценного функционирования организма человека [1, 2].

В России и за рубежом за последние годы резко увеличилось потребление концентрированных соков, характеризующихся химической и микробиологической стабильностью. Концентрирование фруктовых соков является более сложным процессом, чем концентрирование других жидких пищевых сред, поскольку качество концентрата, помимо требований стандарта, зависит от высокой чувствительности плодовых соков к термической обработке. Даже умеренные (40...50 °С) температуры могут вызвать необратимые изменения компонентов сока при его концентрировании [2].

Качество концентрированного сока определяется, главным образом, его вкусом и запахом, однако все его ароматические вещества — летучие соединения и в процессе выпаривания могут утратиться. Поэтому, при технологической переработке соков их высокие вкусовые качества будут сохраняться лишь при низкой температуре и кратковременном пребывании сока в тепловых аппаратах. Такая технология позволяет достичь избирательного удаления воды и сохранения всех компонентов в концентрированном соке.

Эти условия практически полностью соблюдаются и выполняются при концентрировании соков методом вымораживания влаги [3, 4].

Исследование влияния условий вымораживания вишневого сока в циклическом режиме на характер получения концентрированного продукта позволяет глубже понять и оценить особенности указанного процесса.

На кафедре машин и аппаратов пищевых производств «Воронежского государственного университета инженерных технологий» была проведена серия экспериментов по концентрированию вишневого сока вымораживанием влаги в усовершенствованной конструкции льдогенератора «Vlexmatic V41 electronik», оснащенной системой замкнутой циркуляции сока и набором съемных теплообменных пластин испарителя — вымораживателя.

В качестве основных факторов, влияющих на процесс концентрирования вымораживанием вишневого сока, были выбраны: t_0 — температура кипения хладагента в испарителе вымораживающей установки, °С; f — площадь поверхности теплообменных элементов, отнесенная к 1 м³ полезного объема аппарата, м²/м³; Q — расход сока, подаваемого в аппарат, м³/с; CB_n — начальное содержание сухих веществ в исходном соке, % [5, 6].

Эксперименты проводили в трехкратной последовательности. По средним значениям из серии опытов построены графики зависимостей удельной цикловой производительности по выморозенному льду (рис. 1–3) и величины удельных затрат энергии на проведение процесса концентрирования (рис. 4–6) от температуры кипения хладагента в испарителе вымораживающей установки, площади поверхности теплообменных элементов, отнесенной к 1 м³ полезного объема аппарата, расхода сока, подаваемого в аппарат и начального содержания сухих веществ в исходном вишневом соке, подаваемом на концентрирование.

Анализ зависимостей показал, что параметры процесса концентрирования вымораживанием идентично

влияют на удельное количество выморозенного льда. С уменьшением температуры кипения хладагента в испарителе установки, величина удельного количества выморозенного льда монотонно увеличивается по зависимости близкой к линейной, вследствие перехода значительного количества свободной воды в твердую фазу из-за высоких значений температурного напора между циркулирующим соком и теплообменной поверхностью вымораживающей установки [7].

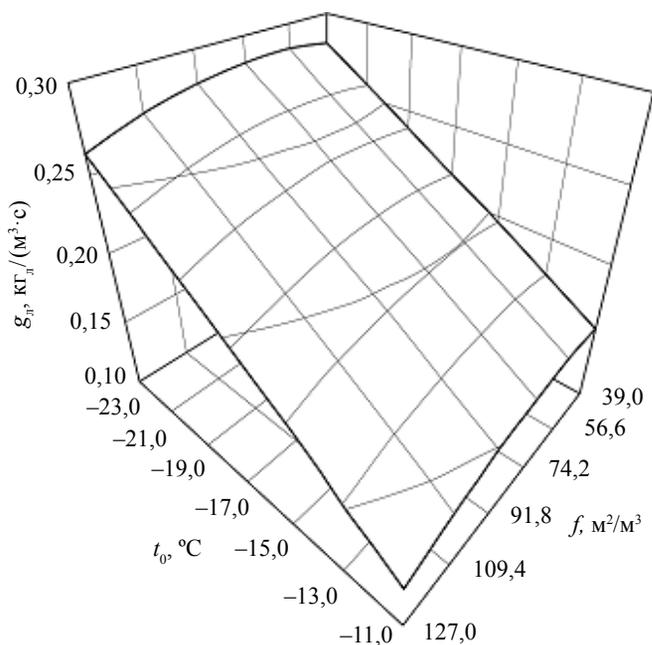


Рис. 1. Зависимость удельного количества выморозенного льда $g_p, \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$ при расходе исходного продукта $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ и начальном содержании сухих веществ в продукте 12,4% от температуры кипения хладагента в испарителе $t_0, \text{ }^\circ\text{C}$ и удельной площади поверхности теплообменных элементов $f, \text{ м}^2/\text{м}^3$

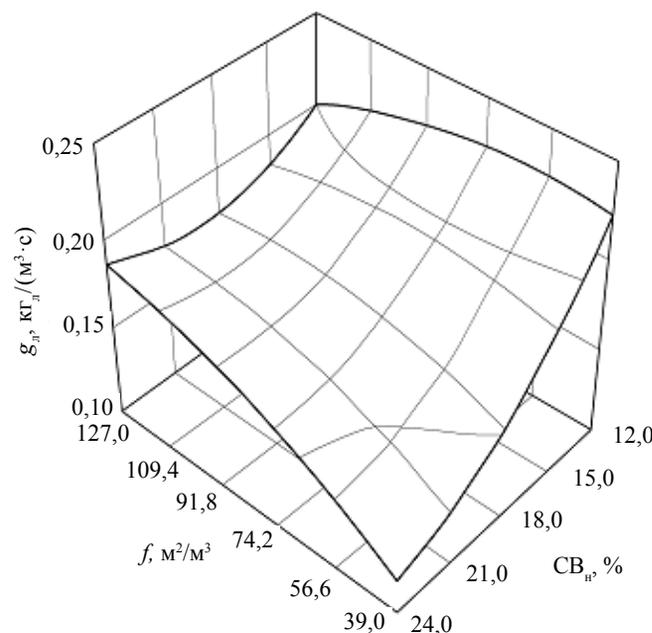


Рис. 2. Зависимость удельного количества выморозенного льда $g_p, \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$ при температуре кипения хладагента в испарителе $-17 \text{ }^\circ\text{C}$, расходе исходного продукта $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ от удельной площади поверхности теплообменных элементов $f, \text{ м}^2/\text{м}^3$ и начальном содержании сухих веществ в продукте $CB_n, \%$

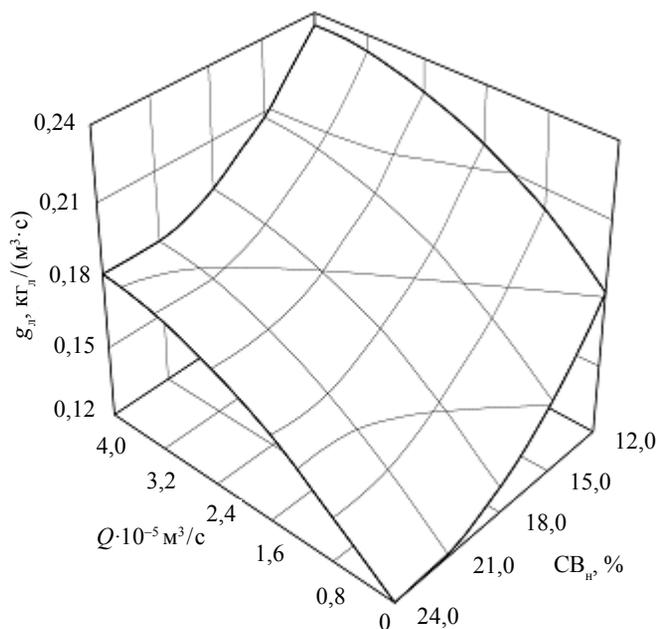


Рис. 3. Зависимость удельного количества вымороженного льда g_i , $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$ при температуре кипения хладагента в испарителе -17°C , удельной площади поверхности теплообменных элементов $83 \text{ м}^2/\text{м}^3$ от расхода исходного продукта $Q \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ и начального содержания сухих веществ в продукте CB_n , %

Исследование влияния удельной площади поверхности теплообменных элементов на удельное количество вымороженного льда показало, что при ее увеличении до $72,0 \dots 75,0 \text{ м}^2/\text{м}^3$ наблюдается пропорциональное повышение образования удельного количества вымороженного льда, после чего выделение твердой фазы заметно снижается при дальнейшем увеличении удельной площади поверхности теплообменных элементов, что объясняется невозможностью отвода избыточной теплоты кристаллизации холодильным агрегатом, используемой установки.

Изменение величины удельного количества вымороженного льда от расхода вишневого сока, прокачиваемого через аппарат, носит также выраженный нелинейный характер.

Повышение скорости движения продукта в аппарате обуславливает увеличение количества вымороженного льда из-за повышения значений коэффициентов тепло- и массоотдачи при более интенсивном омывании, как оребренных теплообменных элементов, так и слоя льда, вымороженного на них.

Изучение влияния начального содержания сухих веществ в исходном соке на величину удельного количества вымороженного льда показало, что с увеличением начального содержания сухих веществ в соке удельное количество вымороженного льда монотонно снижается [7].

Зависимость удельных затрат энергии на вымораживание 1 кг льда из вишневого сока от режимов работы вымораживающей установки показаны на рис. 4–6.

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод, что величина удельных затрат энергии нелинейно увеличивается с понижением температуры кипения хладагента в испарителе вымораживающей установки, вызванное закономерным повышением энергопотребления используемым холодильным агрегатом, обеспечивающим достижение требуемого режима охлаждения.

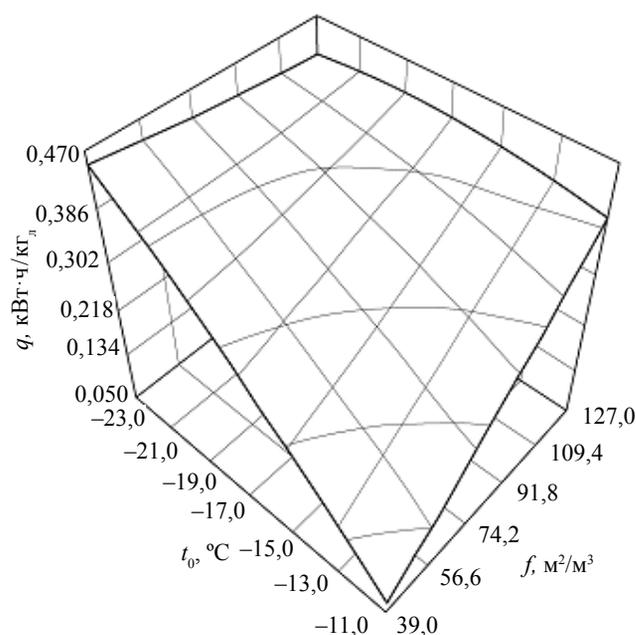


Рис. 4. Зависимость удельных затрат энергии на вымораживание 1 кг льда q , $\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{кг}_\text{л}$ при расходе исходного продукта $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ и начальном содержании сухих веществ в продукте 12,4% от температуры кипения хладагента в испарителе t_0 , $^\circ\text{C}$ и удельной площади поверхности теплообменных элементов f , $\text{м}^2/\text{м}^3$

Установлено, что характер изменения зависимости величины удельных затрат энергии на вымораживание 1 кг льда от удельной площади поверхности теплообменных элементов носит линейный характер. При увеличении удельной площади поверхности теплообменных элементов удельные затраты энергии прямо пропорционально повышаются, достигая максимальной величины при максимальной удельной площади поверхности теплообменных элементов равной $f = 127 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

Изучение влияния расхода вишневого сока на изменение удельных затрат энергии, позволило установить, что с увеличением количества продукта, подаваемого в вымораживающую установку, величина удельных затрат энергии монотонно нелинейно возрастает, в связи с изменениями энергопотребления при работе насоса и холодильного агрегата, обеспечивающие требуемый режим вымораживания влаги.

Изучение зависимости величины удельных затрат энергии на вымораживание 1 кг льда от начального содержания сухих веществ в вишневом соке показало, что оно носит характер близкий к линейному. Наибольшие затраты энергии требуются на вымораживание сока с начальным содержанием сухих веществ 12,0%, имеющего максимальное содержание в своем составе воды и обладающего, соответственно наибольшей теплоемкостью [7].

Таким образом, анализ полученных графических зависимостей позволяет установить, что характер получения концентрированного вишневого сока методом вымораживания влаги наиболее полно отражает его теплофизическую сущность.

Полученные данные позволяют оценить характер процесса вымораживания вишневого сока, определяющийся условиями миграции молекул воды к поверхности фронта кристаллизации и встраивании их в кристалличес-

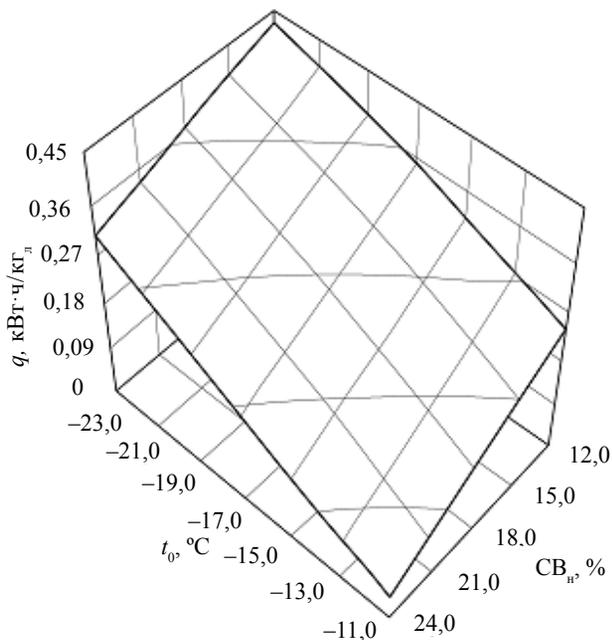


Рис. 5. Зависимость удельных затрат энергии на вымораживание 1 кг льда q , кВт·ч/кг, при удельной площади поверхности теплообменных элементов $83 \text{ м}^2/\text{м}^3$, расходе исходного продукта $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ от температуры кипения хладагента в испарителе t_p , °C и начальном содержании сухих веществ в продукте CB_n , %

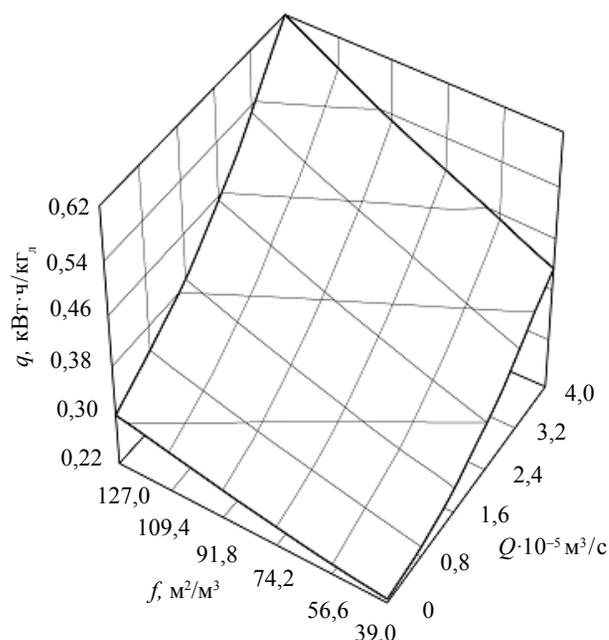


Рис. 6. Зависимость удельных затрат энергии на вымораживание 1 кг льда q , кВт·ч/кг, при температуре кипения хладагента в испарителе -17 °C, начальном содержании сухих веществ в продукте $12,4\%$ от удельной площади поверхности теплообменных элементов f , $\text{м}^2/\text{м}^3$ и расходе исходного продукта $Q \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$

кую структуру льда. Следует отметить, что режим вымораживания влаги характеризуется температурой теплообменной поверхности, воспринимающей теплоту кристаллизации влаги, скоростями движения и площадью поверхности контакта теплообменивающихся сред, а также исходной концентрацией растворенных веществ, что важно при проектировании современных вымораживающих установок непрерывного действия [8–10].

Список литературы

1. Овсянников В. Ю. Определение режимов концентрирования яблочного сока вымораживанием // Хранение и переработка сельхозсырья. 2012. № 7. С. 16–18.
2. Овсянников В. Ю., Кондратьева Я. И., Бостынец Н. И. Концентрирование яблочного сока в барабанной вымораживающей установке // Хранение и переработка сельхозсырья. 2014. № 4. С. 41–44.
3. Разработка модели анализа и прогноза основных характеристик процесса криоконцентрирования / Антипов С. Т., Овсянников В. Ю., Рязанов А. Н., Ященко С. М. // Хранение и переработка сельхозсырья. 2001. № 4. С. 36–38.
4. Термодинамические особенности процесса концентрирования жидких сред вымораживанием / Антипов С. Т., Овсянников В. Ю., Кондратьева Я. И., Бостынец Н. И. // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5–1. с. 159.
5. Овсянников В. Ю. Оптимальные режимы концентрирования плазмы крови вымораживанием // Мясная индустрия. 2012. № 1. С. 65–68.
6. Овсянников В. Ю. Концентрирование плазмы крови крупного рогатого скота вымораживанием // Мясная индустрия. 2013. № 7. С. 74–49.
7. Овсянников В. Ю. Исследование процесса вымораживания влаги из экстрактов эндокринного и специального сырья: дисс. канд. техн. наук: 05.18.12: защищена 29.04.2003; утв. 03.10.2003. Воронеж. гос. технол. акад., 2003. 184 с.

8. Патент 2221202 (Российская Федерация), МКИ 7 F 25 C 1/14, 1/00 Кристаллизатор для непрерывного вымораживания и получения чешуйчатого льда. / С. Т. Антипов, В. Ю. Овсянников, А. Н. Рязанов. — Заявл. — 30.10.2002, № 2002129080/12, опубли. в Б. И., 2004, № 1.
9. Патент 2206839 (Российская Федерация), МКИ 7 F 25 C 1/14 Установка для вымораживания и получения чешуйчатого льда. / С. Т. Антипов, В. Ю. Овсянников, А. Н. Рязанов. — Заявл. — 01.11.2001, № 2001129629/13, опубли. в Б. И., 2003, № 17.
10. Патент 2220385 (Российская Федерация), МКИ 7 F 25 C 1/14 Установка для получения чешуйчатого льда. / С. Т. Антипов, В. Ю. Овсянников, А. Н. Рязанов. — Заявл. — 05.04.2002, № 200210877/3, опубли. в Б. И., 2003, № 36.

References

1. Ovsyannikov V. Yu. Determination of the concentration regimes of apple juice freeze. *Khranenie i pererabotka sel'hozsy'r'ja* [Storage and processing agricultural]. 2012. No 7. pp. 16–18. (in Russian)
2. Ovsyannikov V. Yu., Kondratyeva Ya. I., Bostynets N. I. Concentration of apple juice in the drum freezing out installation. *Khranenie i pererabotka sel'hozsy'r'ja* [Storage and processing agricultural] 2014. No 4. pp. 41–44. (in Russian)
3. Antipov S. T., Ovsyannikov V. Yu., Ryazanov A. N., Yashchenko S. M. Development of the model of analysis and forecast of the fundamental characteristics of the process of cryo-concentration. *Khranenie i pererabotka sel'hozsy'r'ja* [Storage and processing agricultural]. 2001. No 4. pp. 36–38. (in Russian)
4. Antipov S. T., Ovsyannikov V. Yu., Kondratyev YA. I., Bostynets N. I. Thermodynamic special features of the process of the concentration of liquid media by freezing. *Sovremennye naukoemkie texnologii* [Contemporary science-intensive technologies]. 2014. No 5–1. 159 pp. (in Russian)

5. Ovsyannikov V. Yu. Optimal modes freeze plasma concentration. *Mjasnaja industrija* [Meat Industry]. 2012. No 1. 65–68 pp. (in Russian)
6. Ovsyannikov V. Yu. Concentration of the blood plasma of cattle freeze. *Mjasnaja industrija* [Meat Industry]. 2013. No 7. 47–49 pp. (in Russian)
7. Ovsyannikov V. Yu. *Issledovanie processa vymorazhivaniya vlagi iz ekstraktov endokrinnogo i specialnogo syrya*. Diss. cand. tech. the sciences [Study of the process of freezing moisture from the extracts of the endocrine and special raw material]. Voronezh. State. tech. Acad., 2003. 184 p. (in Russian)
8. Patent 2221202 (Russian Federation), MKI 7 F 25 C 1/14 *Crystallizer for continuous freezing and teachings of flake ice.* S. T. Antipov, V. Yu. Ovsyannikov, A. N. Ryazanov. — Zayavl. — 01.11.2001, №2001129629/13, opubl. v B. I., 2003, No 17. (in Russian)
9. Patent 2206839 (Russian Federation), MKI 7 F 25 C 1/14 *Apparatus for freezing and getting flake ice.*/S. T. Antipov, V. Yu. Ovsyannikov, A. N. Ryazanov. — Zayavl. — 01.11.2001, №2001129629/13, opubl. v B. I., 2003, №17. (in Russian)
10. Patent 2220385 (Russian Federation), MKI 7 F 25 C 1/14 *Apparatus for producing flake ice.*/S. T. Antipov, V. Yu. Ovsyannikov, A. N. Ryazanov. — Zayavl. — 05.04.2002, №200210877/3, opubl. v B. I., 2003, No 36. (in Russian)

Требования к рукописям, представляемым в журнал «Вестник МАХ»

- В начале статьи, слева – УДК;
- после названия статьи – авторы с указанием места работы и контактной информации (e-mail);
- отдельно указываются ключевые слова на русском и английском (не более десяти);
- одновременно со статьей представляется аннотация на русском и английском языках. Аннотация должна содержать от 150 до 250 слов (приблизительно 700 печатных знаков). Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. Аннотация на английском языке – не калька, она отличается от русского варианта и представляет собой качественный литературный перевод. Таким образом, аннотация позволяет решить, следует ли обращаться к полному тексту статьи. Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте аннотации. Следует избегать лишних вводных фраз, например, «автор статьи рассматривает...». Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в аннотации не приводятся.
- статьи представляются набранными на компьютере в текстовом редакторе Word 97-2007 на одной стороне листа через 1,5 интервала, размер шрифта 14.
- объем статьи не более 15 страниц (формат А4, вертикальный, 210x297 мм; поля: левое - 2 см, правое - 2 см, верхнее – 2 см, нижнее - 2 см);
- иллюстрации представляются на магнитном носителе в следующем формате: растровые - TIFF-CMYK-300 dpi, TIFF-BM-800 dpi, векторные - EPS-CMYK4
- формулы и отдельные символы набираются с использованием редактора формул MathType (Microsoft Equation). (не вставлять формулы из пакетов MathCad и MathLab).
- в статьях необходимо использовать Международную систему единиц (СИ);
- Список литературных источников должен быть оформлен по ГОСТу и содержать ссылки только на опубликованные работы. Для цитируемых статей из журналов следующее описание: фамилия и инициалы авторов, полное название статьи, через двойной слэш название журнала, год, том, номер, диапазон страниц. Для книг: фамилии и инициалы авторов, точное название книги, место издания (город), издательство, год, количество страниц. Номера ссылок в тексте должны идти строго по порядку их цитирования и заключаться в квадратные скобки. Количество пристатейных ссылок не менее 10-15

Статьи, оформленные с нарушением правил, редакцией не принимаются и возвращаются авторам без рассмотрения по существу. Автор гарантирует отсутствие плагиата и иных форм неправомерного заимствования результатов других произведений.

Данные об аффилировании авторов (author affiliation).

На отдельной странице и отдельным файлом: – сведения об авторах на русском и английском языках: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, звания (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать), должности основного места работы (учебы); наименование и почтовые адреса учреждений, в которых работают авторы, e-mail.

Статьи принимаются на магнитном носителе и в печатном экземпляре или высылаются на электронный адрес редакции vestnikmax@rambler.ru

Плата за публикации не взимается

Дополнительная информация для авторов на сайте <http://vestnikmax.com>