

## Процессы и аппараты пищевых производств

Оригинальная статья/Original article

УДК 637.66:664.046.3

DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-12-18>

### Кинетические закономерности и оптимизация процесса криоконцентрирования крови крупного рогатого скота

|                         |              |                   |
|-------------------------|--------------|-------------------|
| Сергей Т. Антипов       | <sup>1</sup> | ast@vsuet.ru      |
| Виталий Ю. Овсянников   | <sup>1</sup> | ows2003@mail.ru   |
| Александр А. Корчинский | <sup>1</sup> | 79192492267@ya.ru |

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Аннотация.** Актуальность применения компонентов крови в качестве сырья для выработки из нее продуктов, способствующих профилактике и лечению железодефицитных состояний не вызывает сомнений. Кроме того белковые соединения крови крупного рогатого скота обладают высокой усвояемостью организма человека, а комплекс незаменимых аминокислот обуславливает ее привлекательность в качестве добавки при выработке широкого ассортимента мясной продукции. Единственно возможным способом в настоящее время сгущения термолабильных соединений крови является криоконцентрирование, осуществляемое в диапазоне температур приближенных к криоскопической температуре. Исследованы кинетические особенности криоконцентрирования крови крупного рогатого скота на экспериментальной установке циклического действия. Показано, что условия криоконцентрирования определяются температурой кипения хладагента в испарителе установки, расхода исходной крови, омывающей поверхность теплообмена и содержанием растворимых соединений в исходной жидкости. Экспериментальные данные представлены в виде кривых роста слоя вымороженного льда на поверхности теплообмена площадью 0,2 м<sup>2</sup>. Методами математического планирования получены уравнения, описывающие количество льда, вымороженного в течение часа с единицы площади поверхности вымораживающей установки, удельные затраты энергии на вымораживание одного килограмма льда и содержание сухих веществ крови в растворе, полученном при расправлении вымороженного льда. Решенная задача оптимизации процесса криоконцентрирования крови позволила найти рациональные интервалы изменения режимных параметров работы вымораживающей установки, обеспечивающие максимальное количество вымороженного льда, минимальные затраты энергии и минимальное содержание растворимых веществ в растворе, полученном при расправлении вымороженного льда. Субоптимальными интервалами указанных параметров явились следующие: температура кипения хладагента 256–260 К, расход крови (0,20–0,205) · 10<sup>-3</sup> м<sup>3</sup>/с, содержание сухих веществ 22,5–23,0%.

**Ключевые слова:** кровь крупного рогатого скота, концентрирование вымораживанием

### Kinetic patterns and optimization of the process of concentration by freezing the blood of cattle

|                          |              |                   |
|--------------------------|--------------|-------------------|
| Sergei T. Antipov        | <sup>1</sup> | ast@vsuet.ru      |
| Vitaly Yu. Ovsyannikov   | <sup>1</sup> | ows2003@mail.ru   |
| Aleksandr A. Korchinskij | <sup>1</sup> | 79192492267@ya.ru |

<sup>1</sup> Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** The urgency of the use of blood components as a raw material for the production of products from it that contribute to the prevention and treatment of iron deficiency states is beyond doubt. In addition, protein compounds in the blood of cattle have a high digestibility of the human body, and the complex of essential amino acids determines its attractiveness as an additive in the development of a wide range of meat products. The only possible way at present to thicken thermo labile blood compounds is cryoconcentration, carried out in a temperature range close to the cryoscopy temperature. The kinetic features of cryoconcentration of cattle blood were investigated on an experimental apparatus of cyclic action. It is shown that the conditions of cryoconcentration are determined by the boiling point of the refrigerant in the evaporator of the installation, the flow rate of the original blood washing the heat exchange surface and the content of soluble compounds in the initial liquid. Experimental data are presented in the form of growth curves of frozen ice on the heat exchange surface with an area of 0.2 m<sup>2</sup>. Using mathematical planning methods, equations are obtained that describe the amount of ice frozen for 1 hour per unit of surface area of the freezing plant, the specific energy input for freezing one kilogram of ice, and the dry matter content of the blood in the solution obtained by melting the frozen ice. The solved problem of optimizing the process of blood cryoconcentration made it possible to find rational intervals for changing the operating parameters of the freezing plant, ensuring the maximum amount of frozen ice, minimal energy costs and minimal content of soluble substances in the solution obtained by melting frozen ice. The suboptimal intervals of the indicated parameters were the following: refrigerant boiling point 256–260 K, blood consumption (0.20–0.205) · 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/s, dry matter content 22.5–23.0 %.

**Keywords:** blood of large livestock, kinetics, freeze concentration

Для цитирования

Антипов С.Т., Овсянников В.Ю., Корчинский А.А. Кинетические закономерности и оптимизация процесса криоконцентрирования крови крупного рогатого скота // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 12–18. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-12-18

For citation

Antipov S.T., Ovsyannikov V.Yu., Korchinskij A.A. Kinetic patterns and optimization of the process of concentration by freezing the blood of cattle. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 12–18. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-12-18

### **Введение**

Кровь крупного рогатого скота (КРС) является значимым источником белка животного происхождения, в ней содержится ряд необходимых человеку соединений – аминокислот, жиров, комплекс углеводов, витаминов и ферментов, минеральных соединений. Значительное количество людей страдают от недостатка железа. Одной из наиболее распространенных причин патологий, наблюдающихся у населения различных стран в мире, является недостаточное поступление железа в организм. Кровь КРС выступает в качестве важнейшего сырья для производства из нее продуктов, обеспечивающих активную профилактику и лечение железодефицитного состояния, кроме того, она имеет низкую стоимость и доступна.

С ростом поголовья скота в России расширяются и ресурсы крови, которую можно использовать при выработке ряда мясных продуктов.

Важное значение имеет кровь как сырье для выработки лечебных препаратов, ассортимент которых достаточно широк.

Промышленные способы концентрирования крови сельскохозяйственных животных в значительной степени определяют качество вырабатываемых из них конечных продуктов. При этом только единственно возможный способ получения концентрированной крови КРС – криоконцентрирование (вымораживание влаги) обеспечивает максимальную сохранность всех нативных биотехнологических соединений исходного сырья при достаточно высокой концентрации целевых компонентов крови.

### **Материалы и методы**

Представлены результаты исследований криоконцентрирования крови КРС на экспериментальной установке в циклическом режиме [1].

Экспериментальные исследования проводили в трехкратной последовательности. После достижения требуемой температуры испарителя установки включался насос, обеспечивающий подачу крови из напорного бака на поверхность испарителя, и секундомер. Необходимый расход крови устанавливали за счет предварительного изменения проходного сечения магистрали подачи крови КРС за счет частичного перекрытия запорного вентиля.

В ходе эксперимента обеспечивалась регистрация показаний температуры кипения фреона в испарителе установки, давления всасывания и нагнетания компрессора, расход крови КРС и длительность криоконцентрирования. Одновременно проводили измерение силы

тока и напряжение в цепи холодильного агрегата и циркуляционного насоса экспериментальной установки.

После установленного периода криоконцентрирования, принятом равным 60 мин, отключали подачу крови КРС на испаритель установки, а также обеспечивали создание условий для оттаивания испарителя экспериментальной установки. Это позволяло осуществить подачу горячих паров хладагента в испаритель и обеспечить подтаивание слоя вымороженного льда, который под действием силы тяжести соскальзывал с поверхности испарителя в специально подготовленную емкость.

После криоконцентрирования крови КРС осуществляли измерение удельного количества вымороженного льда с единицы площади поверхности вымораживания, величины удельных затрат энергии на вымораживание влаги и содержание сухих веществ в растворе, расплавленного льда.

### **Результаты и обсуждение**

Проведенные исследования вымораживания льда на теплообменной поверхности испарителя площадью  $0,2 \text{ м}^2$  за цикл в зависимости от температуры кипения хладагента и начального содержания сухих веществ в крови КРС при постоянном расходе продукта, омывающего теплообменную поверхность, равном  $0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ , представлены на рисунках 1–4.

Анализ полученных кривых роста слоя льда позволяют сделать следующие выводы.

Механизм процесса концентрирования крови КРС вымораживанием влаги зависит от режимных параметров указанного процесса и характера взаимодействия влаги с сухим веществом крови или, иными словами, характера перемещения молекул воды из жидкой фазы поверхности фронта образования льда и проникновения их в кристаллическую структуру ледяной фазы [1].

Режим криоконцентрирования, в свою очередь, влияющий на условия протекания процесса, определяется следующими параметрами: величиной температуры поверхности охлаждения, которая воспринимает теплоту льдообразования, величинами скоростей движения и площадью поверхности контакта жидкости и поверхности теплообмена, содержанием и спецификой растворимых соединений в крови КРС [2].

Исследование изменения среднего значения количества вымороженного льда с единицы площади теплообмена вымораживающей установки во времени, полученного при

экспериментальном исследовании, определяет основные характеристики процесса криоконцентрирования крови КРС [3–6].

Проведенные исследования вымораживания слоя льда на поверхности испарителя вымораживающей установки в зависимости от температуры кипения хладагента и начальной величины растворимых веществ в крови КРС при постоянной величине расхода крови, орошающей испаритель, представлены на рисунках 1–4.

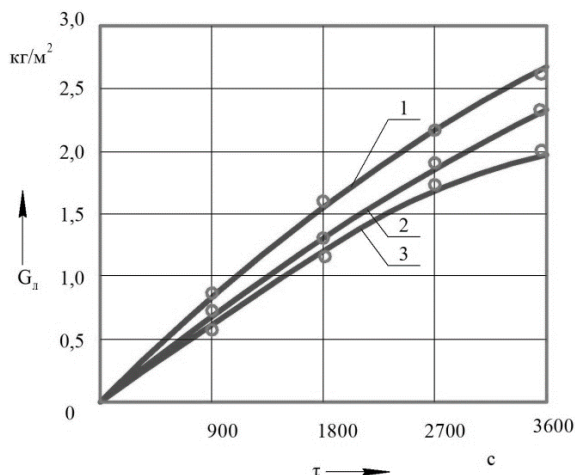


Рисунок 1. Кривые роста слоя льда на испарителе при температуре кипения хладагента 260 К и начальном содержании сухих веществ в крови, %: 1 – 19,1; 2 – 23,2; 3 – 27,8

Figure 1. Growth curves of the ice layer on the evaporator at the boiling point of the refrigerant 260 K and the initial content of dry substances in the blood, %: 1 – 19.1; 2 – 23.2; 3 – 27.8

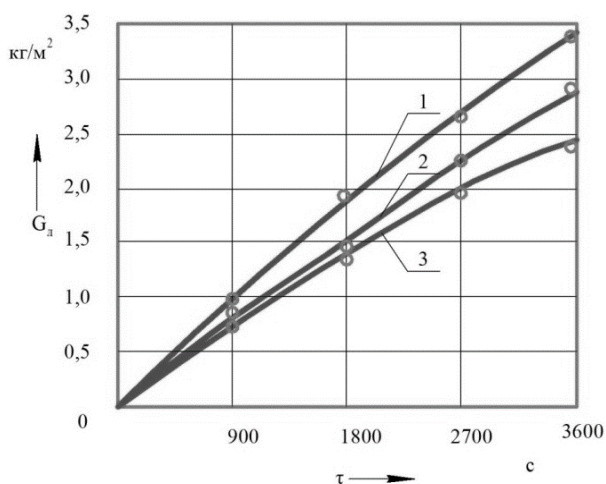


Рисунок 2. Кривые роста слоя льда на испарителе при температуре кипения хладагента 255 К и начальном содержании сухих веществ в крови, %: 1 – 19,1; 2 – 23,2; 3 – 27,8

Figure 2. Growth curves of the ice layer on the evaporator at the boiling point of the refrigerant 255 K and the initial content of dry substances in the blood %: 1 – 19.1; 2 – 23.2; 3 – 27.8

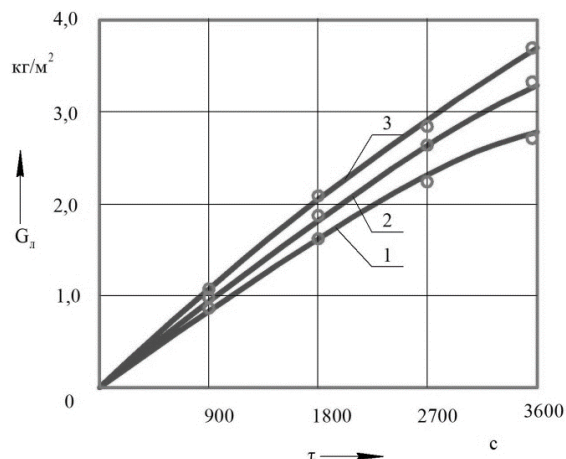


Рисунок 3. Кривые роста слоя льда на испарителе при содержании сухих веществ в крови 19,1% и температуре кипения хладагента в испарителе, К: 1 – 258; 2 – 255; 3 – 253

Figure 3. The growth curves of the ice layer on the evaporator with a dry matter content in the blood of 19.1% and the boiling point of the refrigerant in the evaporator, К: 1 – 258; 2 – 255; 3 – 253

Анализ полученных кривых роста слоя льда позволяет сделать следующие выводы.

Зависимости, отражающие удельное количество льда, вымороженного на теплообменной поверхности испарителя при концентрировании крови КРС, при изменении температуры кипения хладагента и начального содержания сухих веществ в крови КРС носят схожий характер.

Увеличение начального содержания сухих веществ в крови КРС при постоянной температуре кипения хладагента в испарителе обуславливает нелинейное снижение удельного количества вымороженного льда.

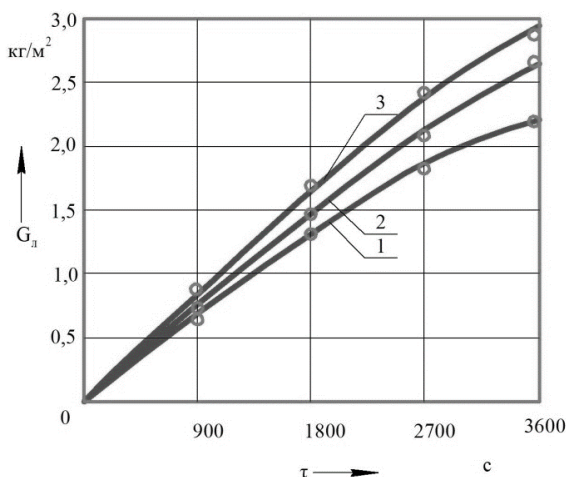


Рисунок 4. Кривые роста слоя льда на испарителе при содержании сухих веществ в крови 25% при температуре кипения хладагента в испарителе, К: 1 – 258; 2 – 255; 3 – 253

Figure 4. The growth curves of the ice layer on the evaporator with a dry matter content in the blood of 25% at the boiling point of the refrigerant in the evaporator, К: 1 – 258; 2 – 255; 3 – 253

При анализе количества вымороженного льда, полученного через равные интервалы времени при концентрировании, установлено, что температура кипения хладагента в испарителе вымораживающей установки также оказывает влияние на удельное количество льда, вымороженного из крови.

Изменение температуры кипения хладагента в испарителе вымораживающей установки вызывает нелинейное повышение удельного количества льда. Снижение температуры кипения хладагента вызывает пропорциональное повышение удельного количества вымороженного льда, а повышение температуры снижает количество образующегося льда [7–9].

При применении математических методов планирования эксперимента изучили влияние различных параметров на особенности функционирования вымораживающей установки.

В качестве основных факторов, оказывающих наибольшее влияние на характер функционирования вымораживающей установки, были выявлены следующие:  $X_1$  – температура кипения хладагента в испарителе вымораживающей установки, К;  $X_2$  – расход крови КРС, омывающей рабочую поверхность испарителя, м<sup>3</sup>/с;  $X_3$  – начальное содержание сухих растворимых веществ в крови КРС, %.

Все указанные факторы являются совместимыми и не коррелируемы между собой, а пределы их изменения представлены в таблице 1.

От указанных параметров зависит удельное количество ледяной фазы, вымороженной с единицы площади поверхности испарителя за цикл работы установки, принятый равным 3600 с, затраты энергии на процесс вымораживания влаги и величина сухих растворимых веществ, захватываемых вымороженным льдом в процессе концентрирования крови. Исследуя их взаимосвязь и влияние, можно выявить наиболее оптимальные с точки зрения функционирования режимы технологического процесса.

Выбор величины интервалов изменения выявленных факторов вызван особенностью технологии сгущения крови КРС и техническими характеристиками используемой экспериментальной вымораживающей установки.

В качестве критериев оценки воздействия указанных параметров на характер процесса криоконцентрирования крови КРС методом вымораживания влаги были выбраны:  $Y_1$  – масса льда, вымороженная в течение 3600 с с единицы площади поверхности испарителя, кг/(м<sup>2</sup>·ч);  $Y_2$  – удельные затраты энергии на вымораживание одного килограмма льда, кВт·ч/кг;  $Y_3$  – содержание сухих веществ крови КРС в растворе вымороженного и расплавленного льда, %.

Для исследования выбрали центральное композиционное ротатабельное униформпланирование с полным факторным экспериментом типа 2<sup>3</sup>, который предусматривает проведение двадцати опытов.

Таблица 1.

Пределы изменения входных факторов

Table 1.

Limits of variation of input factors

| Условия планирования<br>Planning conditions     | Кодированные значения<br>Coded values | Значения факторов в точках плана<br>The values of the factors in the points plan |   |           |
|---|---------------------------------------|--|---|-----------|
|   |                                       | $X_1$ , К  | $X_2 \cdot 10^{-3}$ , м <sup>3</sup> /с | $X_3$ , % |
| Основной уровень   Basic level                  | 0                                     | 258  | 0,20                                    | 23        |
| Интервал варьирования   The range of variation  | $\Delta$                              | 3,0  | 0,03                                    | 3         |
| Верхний уровень   Top level                     | +1                                    | 261  | 0,23                                    | 26        |
| Нижний уровень   Lower level                    | -1                                    | 255  | 0,17                                    | 20        |
| Верхняя “звездная точка”   The top “star point” | +1,682                                | 263  | 0,25                                    | 28        |
| Нижняя “звездная точка”   Lower “star point”    | -1,682                                | 253  | 0,15                                    | 18        |

В результате обработки опытных данных методом парной корреляции удалось получить

уравнения регрессии, адекватно описывающие указанный процесс:

$$Y_1 = 2,434 - 0,655X_1 - 0,487X_2 + 0,623X_3 + 0,867X_1X_3 - 0,572X_2X_3 - 0,283X_1^2 + 0,770X_2^2 + 0,123X_3^2; \quad (1)$$

$$Y_2 = 1,032 + 0,322X_1 + 0,147X_2 - 0,001X_3 + 0,174X_1X_2 - 0,646X_1X_3 + 0,063X_2X_3 - 0,261X_1^2 + 0,131X_2^2; \quad (2)$$

$$Y_3 = 3,430 + 0,415X_1 + 0,183X_2 - 0,133X_3 + 0,264X_1X_2 - 0,109X_2X_3 + 0,184X_1^2 - 0,123X_2^2 + 0,343X_3^2. \quad (3)$$

Анализ уравнений регрессии (1)–(3) показал, что на массу льда, вымороженного за 1 ч работы установки с единицы поверхности испарителя, наибольшее влияние оказывает

температура кипения хладагента в испарителе вымораживающей установки и начальное содержание сухих веществ в крови КРС, наименьшее – расход крови, омывающей

поверхность испарителя. Величина влияния факторов относительно друг друга, описываемая коэффициентами, стоящими перед линейными членами уравнения  $b_1: b_2 = 1,359$ ,  $b_3: b_2 = -1,280$ . Знак плюс перед коэффициентом при линейных членах свидетельствует о том, что при увеличении входного фактора величина выходного фактора повышается, а знак минус, что снижается.

На удельные затраты энергии на реализацию процесса концентрирования крови методом вымораживания большее влияние оказывает температура кипения хладагента в испарителе вымораживающей установки, меньшее – начальное содержание сухих растворимых веществ, присутствующих в крови КРС. При этом степень влияния факторов друг относительно друга составила величину, равную  $b_1: b_3 = 332$  это весьма существенно.

Отношение коэффициентов, стоящих перед линейными членами уравнения (3), отражающего величину потерь сухих веществ крови с отводимым вымороженным льдом из вымораживающей установки, характеризующих степень влияния параметров относительно друг друга, оказалось равным:  $b_1: b_3 = 3,120$ .

На рисунках 5–7 представлены зависимости критериев  $Y_i$  от выделенных факторов.

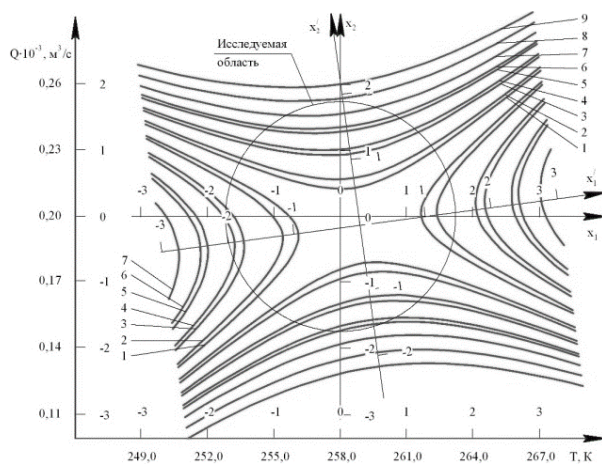


Рисунок 5. Зависимость массы льда,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , вымороженного в течение 1 ч с единицы площади поверхности установки, от температуры кипения хладагента  $T$ , К, и расхода крови  $Q$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ , омывающей испаритель: 1 – 0,60; 2 – 1,275; 3 – 1,95; 4 – 2,625; 5 – 3,30; 6 – 3,975; 7 – 4,65; 8 – 5,325; 9 – 6,0

Figure 5. The dependence of the mass of ice,  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , frozen within an 1 h from the unit surface area of the unit from, the boiling point of the refrigerant  $T$ , K, and blood flow  $Q$ ,  $\text{m}^3/\text{s}$ , washing evaporator: 1 – 0.60; 2 – 1.275; 3 – 1.95; 4 – 2.625; 5 – 3.30; 6 – 3.975; 7 – 4.65; 8 – 5.325; 9 – 6.0

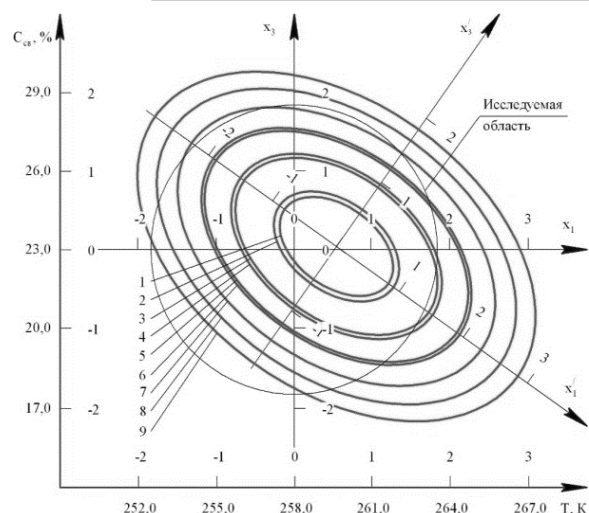


Рисунок 6. Зависимость удельных затрат энергии на вымораживание 1 кг льда из крови,  $\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$ , от температуры кипения хладагента  $T$ , К, и содержания сухих растворимых веществ в крови  $C_{\text{св}}$ , %: 1 – 0,33; 2 – 0,6175; 3 – 0,905; 4 – 1,1925; 5 – 1,48; 6 – 1,7675; 7 – 2,055; 8 – 2,3425; 9 – 2,630

Figure 6. The dependence of the specific energy consumption for freezing 1 kg of ice from the blood,  $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{kg}$ , of the boiling point of the refrigerant  $T$ , K, and the initial content of dry soluble substances in the blood of  $C_{\text{св}}$ , %: 1 – 0.33; 2 – 0.6175; 3 – 0.905; 4 – 1.1925; 5 – 1.48; 6 – 1.7675; 7 – 2.055; 8 – 2.3425; 9 – 2.630

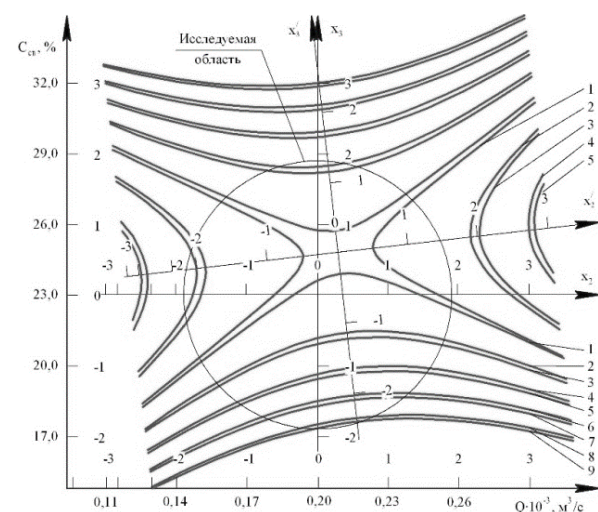


Рисунок 7. Зависимость содержания сухих веществ крови в растворе расплавленного льда  $C_{\text{св}}$ , %, от расхода крови  $Q$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ , омывающей испаритель, и начального содержания сухих растворимых веществ в крови  $C_{\text{св}}$ , %: 1 – 1,5; 2 – 2,0; 3 – 2,5; 4 – 3,0; 5 – 3,5; 6 – 4,0; 7 – 4,5; 8 – 5,0; 9 – 5,5

Figure 7. The dependence of the content of dry substances of blood in a solution of molten ice  $C_{\text{св}}$ , %, of the blood flow  $Q$ ,  $\text{m}^3/\text{s}$ , washing the evaporator and the initial content of dry soluble substances in the blood of  $C_{\text{св}}$ , %: 1 – 1.5; 2 – 2.0; 3 – 2.5; 4 – 3.0; 5 – 3.5; 6 – 4.0; 7 – 4.5; 8 – 5.0; 9 – 5.5



В задачу оптимизации входило нахождение таких режимов функционирования концентрирующей установки, которые бы в указанном интервале изменения входных параметров обеспечивали максимальное количество ледяной фазы, вымороженной с единицы площади испарителя за цикл работы, минимальное значение затрат энергии на процесс вымораживания и минимальную величину растворимых веществ, захватываемых вымороженным льдом в процессе концентрирования крови КРС [8–10].

Общая математическая постановка задачи оптимизации была представлена в виде следующей модели:

$$\begin{aligned} q &= q(y_1, y_2, y_3) \xrightarrow{x \in D} \text{opt}, \\ D: y_1(x_1, x_2, x_3) &\xrightarrow{x \in D} \text{max}, \\ y_2(x_1, x_2, x_3) &\xrightarrow{x \in D} \text{min}, \\ y_3(x_1, x_2, x_3) &\xrightarrow{x \in D} \text{min}, \\ y_i &\geq 0, \quad i = \overline{1, 2}; \quad x_j \in [-1,682; 1,682], \quad j = \overline{1, 3}. \end{aligned} \quad (4)$$

Для определения оптимальных режимов концентрирования крови КРС методом вымораживания влаги использовали метод "ридж-анализ", который основан на математическом аппарате неопределенных множителей Лагранжа.

В таблице 2 представлены полученные в результате оптимизации интервалы изменения значений  $X_i$  для всех описанных выходных факторов.

С целью принятия конечного решения по выбору оптимальных условий описанного процесса следует найти решение, удовлетворяющее условию (4) путем наложения представленных в таблице 1 оптимальных интервалов изменения значений  $X_i$  друг на друга.

Изучая выделенную область допустимых значений  $x \in [-1,682; 1,682]$  и сопоставляя оптимальные интервалы по каждому выходному фактору  $Y_i$  для всех  $x_i$ , отметим, что исследуемые  $Y_i$  не конфликтуют между собой ни по одному из параметров  $x_i$ .

В результате сопоставления выявленных оптимальных интервалов значений  $X_i$  отмечаем,

что общими для критериев оптимизации  $Y_1$  и  $Y_2$  являются диапазоны  $x_1 = [256,0-260,0]$ , К;  $x_2 = [0,20-0,205] \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $x_3 = [22,5-23,0]$ .

Таблица 1.

Оптимальные интервалы изменения входных параметров и выходных факторов

Table 1.

Optimal intervals for changing input parameters and output factors

| y              | x <sub>1</sub> , К |        | x <sub>2</sub> · 10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup> /с |       | x <sub>3</sub> , % |       |
|----------------|--------------------|--------|---|-------|--------------------|-------|
|                | min                | max    | min   | max   | min                | max   |
| Y <sub>1</sub> | 255,20             | 257,29 | 0,198   | 0,213 | 23,16              | 24,36 |
| Y <sub>2</sub> | 259,40             | 261,27 | 0,201   | 0,209 | 22,56              | 22,91 |
| Y <sub>3</sub> | 261,07             | 263,17 | 0,203   | 0,213 | 22,31              | 22,82 |

Для проверки достоверности полученных результатов проводили соответствующее количество параллельных опытов. Полученные данные находились внутри рассчитанных доверительных интервалов по всем выбранным критериям. При этом среднеквадратичная погрешность не превышала 4,6%.

В качестве субоптимальных интервалов изменения параметров следует принять:  $T = 256,0-260,0$  К;  $Q = (0,20-0,205) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $C_{\text{св}} = 22,5-23,0\%$ .

### Заключение

Обобщая полученные данные, можно сказать, что процесс криоконцентрирования крови КРС протекает по сложному механизму, при этом значительное влияние имеет температура поверхности теплообмена, на которой формируется слой вымороженного льда и начальное содержание сухих растворимых веществ в крови.

Результаты решенной задачи оптимизации позволили выделить рациональный диапазон изменения входных факторов по трем исследуемым критериям функционирования вымораживающей установки. Полученная математическая модель может применяться при создании вымораживающих установок периодического действия, а также способа управления технологическими режимами криоконцентрирования крови КРС.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Антипов С.Т., Овсянников В.Ю., Корчинский А.А. Исследование концентрирования крови крупного рогатого скота // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 11–17.
- 2 Антипов С.Т., Рязанов А.Н., Овсянников В.Ю., Ященко С.М. Разработка модели анализа и прогноза основных характеристик процесса криоконцентрирования // Хранение и переработка сельхозсырья. 2001. № 4. С. 36–38.

- 3 Пап Л. Концентрирование вымораживанием. М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1982. 97 с.

- 4 Плотников В.Т., Филаткин В.Н. Разделительные вымораживающие установки. М.: Агропромиздат, 1987. 352 с.

- 5 Hernandez E., Pazmino N., Raventos M. et al. Continuous system of freeze concentration of sucrose solutions: Process parameters and energy consumption // Journal of Food Technology and Preservation. 2016. P. 1–5.

6 Короткий И.А., Короткая Е.В., Федоров В.Е. Исследование температур замораживания свиной крови // Техника и технология пищевых производств. 2013. № 3 (30). С. 27–31.

7 Pazmino N., Raventos M., Hernandez E., Gulfo R. et al. Continuous system of freeze concentration of sucrose solutions: Process parameters and energy consumption // Journal of Food Technology and Preservation. 2017. V. 1. № 1. P. 1–5.

8 Gulfo R., Auleda J.M., Moreno F.L., Ruiz Y. et al. Multi-plate freeze concentration: Recovery of solutes occluded in the ice and determination of thawing time // Food science and technology international. 2014. № 20. P. 405–19.

9 Hamid A., Hanim F., Rahim N.A., Johari A. et al. Desalination of seawater through progressive freeze concentration using a coil crystallizer // Water Science and Technology: Water Supply. 2015. V. 15. № 3. P. 625–631.

10 Williams P.M., Ahmad M., Connolly B.S., Oatley-Radcliffe D.L. Technology for freeze concentration in the desalination industry // Desalination. 2015. V. 356. P. 314–327.

## REFERENCES

1 Antipov S.T., Ovsyannikov V.Yu., Korchinsky A.A. The study of the concentration of blood of cattle. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 11–17. (in Russian).

2 Antipov S.T., Ryazanov A.N., Ovsyannikov V.Yu., Yashchenko S.M. Development of the model of analysis and forecast of the fundamental characteristics of the process of cryoconcentration. *Khranenie i pererabotka sel'hozsyrya* [Storage and processing agricultural]. 2001. no. 4. pp. 36–38. (in Russian).

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Сергей Т. Антипов** д.т.н., профессор, проректор по научной и инновационной деятельности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ast@vsuet.ru

**Виталий Ю. Овсянников** к.т.н., доцент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ows2003@mail.ru

**Александр А. Корчинский** аспирант, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, 79192492267@ya.ru

## КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

**Сергей Т. Антипов** разработал концепцию исследований, консультации в ходе эксперимента

**Виталий Ю. Овсянников** обработал экспериментальные данные, корректировал рукопись до подачи в редакцию

**Александр А. Корчинский** провёл эксперимент, написал рукопись и несёт ответственность за плагиат

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 05.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 19.11.2018

3 Pap L. Koncentrirovanie vymorazhivaniem [Freeze concentration]. Moscow, Light and food industry, 1982. 97 p. (in Russian).

4 Plotnikov V.T., Filatkin V.N. Razdelitel'nye vymorazhivajushhie ustanovki [Dividing the chiller plant]. Moscow, Agro-publishing, 1987. 352 p. (in Russian).

5 Hernandez E., Pazmino N., Raventos M. et al. Continuous system of freeze concentration of sucrose solutions: Process parameters and energy consumption. Journal of Food Technology and Preservation. 2016. pp. 1–5.

6 Korotky I.A., Korotkaya E.V., Fedorov V.E. Study of freezing temperatures of pig's blood. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevyyh proizvodstv* [Equipment and technology of food production]. 2013. no. 3 (30). pp. 27–31. (in Russian).

7 Pazmino N., Raventos M., Hernandez E., Gulfo R. et al. Continuous system of freeze concentration of sucrose solutions: Process parameters and energy consumption. Journal of Food Technology and Preservation. 2017. vol. 1. no. 1. pp. 1–5.

8 Gulfo R., Auleda J.M., Moreno F.L., Ruiz Y. et al. Multi-plate freeze concentration: Recovery of solutes occluded in the ice and determination of thawing time. Food science and technology international. 2014. no. 20. pp. 405–19.

9 Hamid A., Hanim F., Rahim N.A., Johari A. et al. Desalination of seawater through progressive freeze concentration using a coil crystallizer. Water Science and Technology: Water Supply. 2015. vol. 15. no. 3. pp. 625–631.

10 Williams P.M., Ahmad M., Connolly B.S., Oatley-Radcliffe D.L. Technology for freeze concentration in the desalination industry. Desalination. 2015. vol. 356. pp. 314–327.

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Sergei T. Antipov** Dr. Sci. (Engin.), professor, vice rector of research and innovation, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ast@vsuet.ru

**Vitaly Yu. Ovsyannikov** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, machines and equipment of food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ows2003@mail.ru

**Aleksandr A. Korchinskij** graduate student, engineer, machines and equipment of food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, 79192492267@ya.ru

## CONTRIBUTION

**Sergei T. Antipov** it developed the concept of studies, consultation in the course of the experiment

**Vitaly Yu. Ovsyannikov** processed experimental data, corrected the manuscript before submission to the editor

**Aleksandr A. Korchinskij** conducted an experiment, wrote a manuscript and is responsible for plagiarism

## CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.5.2018

ACCEPTED 11.19.2018