

Виктор Александрович Лебедев

ООО «Газпром переработка», машинист технологических насосов, с. Джанай, Красноярский район, Астраханская область, Россия

E-mail: lebedev_91v@mail.ru

Альберт Хамед-Харисович Нугманов

Астраханский государственный технический университет, профессор кафедры технологических машин и оборудования, доктор технических наук, доцент, Астрахань, Россия

E-mail: albert909@yandex.ru

Игорь Юрьевич Алексанян

Астраханский государственный технический университет, профессор кафедры технологических машин и оборудования, доктор технических наук, профессор, Астрахань, Россия

E-mail:16081960igor@gmail.com

Ноха Джабраилович Айсунгуров

Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, ассистент кафедры технологических машин и оборудования, Грозный, Россия

E-mail: aysungurov91@mail.ru

Галина Сергеевна Мещерякова

Астраханский государственный технический университет, младший научный сотрудник научно-исследовательской части, Астрахань, Россия

E-mail: albert909@yandex.ru

Виолетта Эдуардовна Поликарпова

Астраханский государственный технический университет, аспирант кафедры технологических машин и оборудования, Астрахань, Россия

E-mail: albert909@yandex.ru

**РЕШЕНИЕ АДАПТИРОВАННОЙ К БЛОКАМ МЯКОТИ АРБУЗА
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИХ ДЕФРОСТАЦИИ**

В Российской Федерации существует потребность в биологически активных витаминных и антиоксидантных комплексах природного происхождения. На современном этапе можно выделить перспективную универсальную биоактивную композицию, такую как каротиноидный пигментный комплекс ликопин (E-160d). Из рекомендуемой технологической схемы получения ликопина можно выделить две наиболее энергоемких и определяющих качество готовой продукции операции, такие как размораживание арбузной мякоти и сушка рецептурной смеси. В случае размораживания мякоти арбуза, имеющей небольшой размер блока, например, в сравнении с блоком кильки, целесообразно использовать воздушную дефростацию. При использовании чистой воздушной среды для дефростации блока арбузной мякоти, очевидно, снизятся энергозатраты на проведение этого процесса по отношению к паровоздушному размораживанию. Кроме того, при использовании насыщенного пара при атмосферных условиях (100 °С) в комплексе с воздухом блок с арбузной мякотью будет контактировать с паровоздушной средой в условиях повышенных температур, что является недопустимым в технологии ликопина вследствие возможной его деструкции. В этом случае резонно использовать воздушную среду комнатной температуры. Объектом исследования явились блоки мякоти спелых арбузов при условии их красной цветовой гаммы, что позитивно влияет на извлечение ликопина. Цель исследования – определение продолжительности процесса размораживания блоков мякоти арбуза в рамках температурных и технологических ограничений. Для достижения поставленной цели выявлены температурные и технологические ограничения в процессе размораживания арбузной мякоти блочной заморозки, построена и решена математическая модель теплообмена при дефростации методом конечных разностей. Разработанные режимные параметры размораживания мякоти арбуза в дефростере камерного типа (температура подаваемого воздуха в дефростер – 25 ± 1 °С; скорость движения воздуха в рабочей

© Лебедев В.А., Нугманов А.Х.-Х., Алексанян И.Ю., Айсунгуров Н.Д., Мещерякова Г.С., Поликарпова В.Э., 2021
Вестник КрасГАУ. 2021. № 4. С. 133–139.

камере – 4 ± 1 м/с; размер замороженного брикета – $0,15\times 0,15\times 0,05$ м) могут использоваться для проектирования процесса.

Ключевые слова: мякоть арбуза, ликопин, дефростация, математическая модель, численные методы, поля температур, продолжительность процесса.

Victor A. Lebedev

Operator of Technological Pumps, "Gazprom pererabotka" LLC, Dzhanay, Krasnoyarsk District, Astrakhan Region, Russia

E-mail: lebedev_91v@mail.ru

Albert H.-H. Nugmanov

Dr. of Tech. Sci., Assoc. Prof., Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

E-mail: albert909@yandex.ru

Igor Yu. Aleksanian

Dr. of Tech. Sci., Assoc. Prof., Professor, Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

E-mail: 16081960igor@gmail.com

Nokha D. Aisungurov

Assistant, Department of Technological Machines and Equipment, Grozny State Oil Technical University named after academician M.D. Millionshchikov, Grozny, Russia

E-mail: aysungurov91@mail.ru

Galina S. Meshcheriakova

Junior Researcher, Research Division, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

E-mail: albert909@yandex.ru

Violetta E. Polikarpova

Postgraduate student, Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

E-mail: albert909@yandex.ru

SOLUTION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THEIR DEFROSTATION ADAPTED TO THE PULSE BLOCKS

In the Russian Federation, there is a need for biologically active vitamin and antioxidant complexes of natural origin. At the present stage, it is possible to single out a promising universal bioactive composition, such as the carotenoid pigment complex lycopene (E-160d). From the recommended technological scheme for obtaining lycopene, two operations that are most energy-intensive and determine the quality of finished products can be distinguished, such as defrosting watermelon pulp, as well as drying the prescription mixture. In the case of defrosting watermelon pulp, which has a small block size, for example, in comparison with a sprat block, it is advisable to use air defrosting. When using a clean air environment for defrosting a block of watermelon pulp, the energy consumption for this process will obviously decrease in relation to steam-air defrosting. In addition, when saturated steam is used under atmospheric conditions ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$) in combination with air, the block with watermelon pulp will come into contact with the vapor-air environment at elevated temperatures, which is unacceptable in the lycopene technology, due to its possible destruction. In this case, it is reasonable to use room temperature air. The object of the study was blocks of pulp of ripe watermelons, provided their red color scale, which has a positive effect on the extraction of lycopene. The aim of the study is to determine the duration of the process of defrosting blocks of watermelon pulp within the temperature and technological limitations. To achieve this goal, temperature and technological limitations were identified during the defrosting process; block freezing watermelon pulp, built and solved a mathematical model of mass transfer during defrosting by the finite difference method. The developed operating parameters for defrosting watermelon pulp in a chamber-type defroster, which include: the temperature of the air supplied to the defroster – $25\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$; air speed in the working chamber – 4 ± 1 м/с; frozen briquette size – $0.15\times 0.15\times 0.05$ m can be used for process design.

Keywords: watermelon pulp, lycopene, defrosting, mathematical model, numerical methods, temperature fields, process duration.

Введение. На российском рынке существует потребность в биологически активных витаминных и антиоксидантных комплексах природного происхождения. Введение в структуру питания подобных добавок, даже в незначительной доле, ведет к минимизации вероятности появления ряда патологий и стабилизирует иммунную систему человека [1]. На современном этапе можно выделить перспективную универсальную биоактивную композицию, такую как каротиноидный пигментный комплекс ликопин (E-160d), с помощью которого плодовоовощное сырье, к примеру помидоры и арбузы, обладают насыщенным красным оттенком [2, 3]. Известно, что ликопин, кроме красящей способности, обладает биологически активными свойствами [3]. Но сравнительно большая стоимость и малая доступность его в рыночной сфере служат лимитирующими факторами его использования в пищевом ежедневном рационе.

Ликопин обладает общеукрепляющим влиянием на человеческий организм и рядом позитивных фармакологических характеристик. Его биоактивная функция обусловлена в первую очередь антиоксидантной способностью, т.е. возможностью ингибировать свободнорадикальные клеточные процедуры. При усиливающейся востребованности ликопина все больше уделяют внимание нахождению новых источников его получения. До настоящего момента его источником преимущественно служили специально селекционированные в этом аспекте сорта помидоров [3, 4]. Но малый удельный выход (0,3–0,4 мг/г сырья) и ряд иных параметров обуславливают высокую себестоимость конечного продукта и экономи-

чески малую эффективность. Помимо томатов к числу видов сельскохозяйственного сырья, богатого на ликопин, относятся арбузы, к тому же, согласно последним исследованиям, арбуз не уступает помидорам в его содержании, а даже опережает их по своему количеству (содержание ликопина в арбузе от 4,30–6,20 мг/100г, в томате от 2,30–3,0 мг/100 г) [5, 6]. Как заявляют разработчики, технология получения ликопина из арбузов [7] имеет два преимущества по сравнению с его получением из томатов: нет необходимости проведения многоэтапных технологических процедур, и из арбузной мякоти выход целевого компонента с единицы массы исходного сырья будет выше.

На основе анализа известных способов извлечения ликопина из томатного сырья и публикаций по потенциальной возможности использования мякоти арбузов в технологии ликопина можно определить основные технологические стадии по подготовке арбуза к его промышленной переработке (рис. 1).

Из представленной технологической схемы (рис. 1) можно выделить две наиболее энергоемких и определяющих качество готовой продукции операции, такие как размораживание арбузной мякоти и сушка рецептурной смеси. В связи с этим становится очевидной необходимость поиска новых рациональных научно-технических решений задач совершенствования тепловых и массообменных процессов, корректная реализация которых невозможна без определения продолжительности процесса в рамках температурных и технологических ограничений.

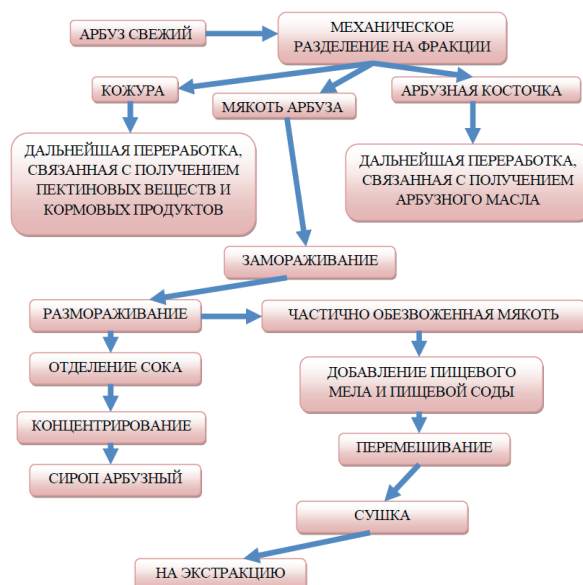


Рис. 1. Основные технологические стадии по подготовке арбуза к его промышленной переработке

В случае размораживания мякоти арбуза, имеющей небольшой размер блока (0,15×0,15×0,05 м), например, в сравнении с блоком кильки (0,482×0,254×0,627 м), целесообразно использовать воздушную дефростацию. При использовании чистой воздушной среды для дефростации блока арбузной мякоти, очевидно, снизятся энергозатраты на проведение этого процесса по отношению к паровоздушному размораживанию. Кроме того, при использовании насыщенного пара при атмосферных условиях (100 °С) в комплексе с воздухом блок с арбузной мякотью будет контактировать с паровоздушной средой в условиях повышенных температур, что является недопустимым в технологии ликопина вследствие возможной его деструкции. В этом случае резонно использовать воздушную среду комнатной температуры, что в определенной мере увеличивает продолжительность процесса, однако позволяет получить качественный ликопин и при этом снижает энергоемкость процесса и необходимость использования при размораживании арбузной мякоти дополнительного оборудования (калорифер, парогенератор и т.д.).

Согласно рекомендуемой технологической схеме происходит размораживание блока с арбузной мякотью, имеющего размер 0,15×0,15×0,05 м в аппарате камерного типа, при этом для снижения энергозатрат на данную операцию и сохранения целевого компонента в сырье в рабочую зону дефростера желателно подводить воздух с комнатной температурой. Учитывая, что замороженный до температуры -18 °С брикет с сырьем нормируется только объемом в 1 дм³ или массой в 1 кг и его размерные характеристики могут произвольно варьироваться в зависимости от технических условий замораживания, экспериментальное измерение температур для каждого размерного ряда становится нецелесообразным. По этой причине определение температурного режима размораживания целесообразно осуществлять путем адаптации к объекту исследования и решения математической модели тепломассообмена.

Цель исследования. Определение продолжительности процесса размораживания блоков мякоти арбуза в рамках температурных и технологических ограничений.

Задачи: выявление температурных и технологических ограничений в процессе размораживания арбузной мякоти блочной заморозки; построение математической модели тепломассообмена при дефростации блоков и обоснование допущений при ее решении; решение модели методом конечных разностей; анализ получен-

ных данных и оценка адекватности полученного решения реальным условиям размораживания.

Объект и методы исследования. Объектом исследования явились блоки мякоти спелых арбузов при условии их красной цветовой гаммы, что позитивно влияет на извлечение ликопина.

В случае однокоординатного решения модели в общем виде уравнение трансфера тепловой энергии при наличии внутреннего источника тепла представляется в форме [8, 9]

$$c_v(T) \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \varepsilon \cdot r1(T) \cdot \rho(T) \cdot \frac{\partial w}{\partial \tau} + r2(T) \cdot \rho(T) \cdot \frac{\partial L}{\partial \tau} + W(x, T).$$

Здесь C_v – объемная удельная теплоемкость; r – величина тепловой энергии, которая поглощается или выделяется при фазовых превращениях; $\frac{\partial w}{\partial \tau}$ – дифференциал варьирования влажности материала по продолжительности испарения влаги; $\frac{\partial L}{\partial \tau}$ – дифференциал варьирования доли вымороженной воды в продукте по продолжительности процедуры размораживания. В нашем случае для парообразования и размораживания одного килограмма влаги: $r = r1 + r2$, где $r1$, $r2$ – количество энергии для парообразования и таяния 1 кг влаги соответственно.

В нашем варианте внутренний тепловой источник отсутствует и $W(x, T) = 0$. Осуществив замену дифференциалов $\frac{\partial w}{\partial \tau}$ и $\frac{\partial L}{\partial \tau}$ на варьирование влажности и доли вымороженной воды, усредненной по высоте блока, и допуская, что параметр фазовых преобразований $\varepsilon = 1$ по той причине, что парообразование воды в свободном состоянии высокоскоростное, транспортировка которой осуществляется в основной своей массе в виде паровой фазы [8] в изотропной структуре образца. Это является причиной того, что теплофизические параметры практически не зависят от координаты x и $\lambda(T)$ можно вынести за знак производной. Поделив все слагаемые соотношения на $c_v(T)$, имеем

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a(T) \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{r1(T) \cdot \rho(T)}{c_v(T)} \frac{\partial w}{\partial \tau} + \frac{r2(T) \cdot \rho(T)}{c_v(T)} \frac{\partial L}{\partial \tau}, \quad (1)$$

где $a(T) = \frac{\lambda(T)}{c(T) \cdot \rho(T)}$ – коэффициент температуропроводности.

Для обеспечения роста обоих аргументов при осуществлении тепломассопереноса заменим на долю сухого остатка s , где $w = 1 - s$.

Тогда $\frac{\partial w}{\partial \tau} = \frac{\partial A}{\partial \tau}$ и

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a(T) \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{r1(T) \cdot \rho(T)}{c_v(T)} \frac{\partial A}{\partial \tau} + \frac{r2(T) \cdot \rho(T)}{c_v(T)} \frac{\partial L}{\partial \tau}. \quad (2)$$

Далее проведем математические преобразования уравнения (2)

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} - \frac{r2(T) \cdot \rho(T)}{c_v(T)} \frac{\partial L}{\partial \tau} = a(T) \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{r1(T) \cdot \rho(T)}{c_v(T)} \frac{\partial A}{\partial \tau}$$

Заменяв c_v на $c\rho$, получим

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} - \frac{r2(T)}{c(T)} \frac{\partial L}{\partial \tau} = a(T) \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{r1(T)}{c(T)} \frac{\partial A}{\partial \tau}$$

Проведя преобразования

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} - \frac{r2(T)}{c(T)} \frac{\partial L}{\partial \tau} = \frac{\partial T}{\partial \tau} - \frac{r2(T)}{c(T)} \frac{\partial L}{\partial \tau} \frac{\partial T}{\partial T} = \frac{\partial T}{\partial \tau} \left(1 - \frac{r2(T)}{c(T)} \frac{\partial L}{\partial T} \right),$$

в итоге получим

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{a(T)}{1 - \frac{r2(T)}{c(T)} \frac{\partial L}{\partial T}} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{r1(T)}{c(T) \left(1 - \frac{r2(T)}{c(T)} \frac{\partial L}{\partial T} \right)} \frac{\partial A}{\partial \tau} \quad (3)$$

Ввиду существенного превалирования теплопереноса над массопереносом в уравнении (3) вычитаемым можно пренебречь, тогда получаем конечное дифференциальное уравнение, описывающее исследуемый процесс

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{a(T)}{1 - \frac{r2(T)}{c(T)} \frac{\partial L}{\partial T}} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (4)$$

Условия в исходном состоянии объекта, то есть в начальный момент времени, для решения поставленной задачи определяем, обоснованно допуская равнозначность температуры по высоте блока при $T = T_0$, т.е. $T(x, t_0) = T_0$. В процессе дефростации блока мякоти арбуза условия теплообмена 2-го рода на границе раздела фаз (на поверхности блока) зададим в виде

$$-\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha (T_{окр.среды} - T_{пов.}), \quad (5)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К) [10]; x – глубина по высоте блока, м; $T_{окр.среды}$ – температура окружающей блок воздушной среды (теплоносителя), °К; $T_{пов.}$ – для пограничного слоя блока при $x = 0$ или x_k , °К.

Путем численного решения уравнения в частных производных (4) при определенных выше краевых условиях теплообмена методом конечных разностей получим функционал $T = f(x, t)$ при обоснованном применении неявной схемы приближений, которая обладает безусловной, устойчивостью при шаговом трансфере по координатным осям t и x .

Результаты исследования и их обсуждение. В результате, применив метод конечных разностей, была определена скорость трансфера температурного фронта в процессе воздушного размораживания арбузной мякоти блочной заморозки при атмосферных условиях. Адаптация к объекту изучения и решение модели трансфера тепловой энергии при дефростации мякоти арбуза блочной заморозки осуществлялись посредством программного продукта Mathcad Professional при соблюдении температурных и технологических ограничений.

На рисунке 2 показана графическая оценка скорости трансфера температурного фронта по глубине высоты слоя блока мякоти арбуза, проведенная путем решения построенной математической модели (4). Из графика видно, что на шестой минуте дефростации присутствует пик температуры, который обусловлен фазовым переходом льдообразной влаги в жидкообразную в поверхностных слоях, так как смена агрегатного состояния ведет к резкому изменению в них физико-химических характеристик.

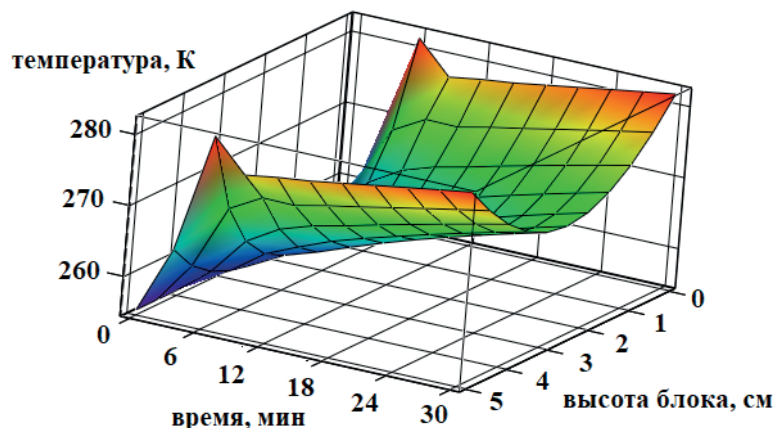


Рис. 2. Эволюция полей температур по толщине брикета во времени при размораживании мякоти арбуза

Далее (рис. 3) наблюдается некоторое снижение температуры ввиду частичного испарения жидкой фазы при контакте с более нагретым воздухом, впоследствии получаем плавное изменение температуры как по толщине слоя, так и во времени процесса, вследствие того, что

теплоперенос происходит от жидкой фазы, а не от воздуха к льдообразной среде. Очевидно, что различия между физико-химическими характеристиками воды и льда не столь существенны в сравнении их между воздухом и замороженной влагой.

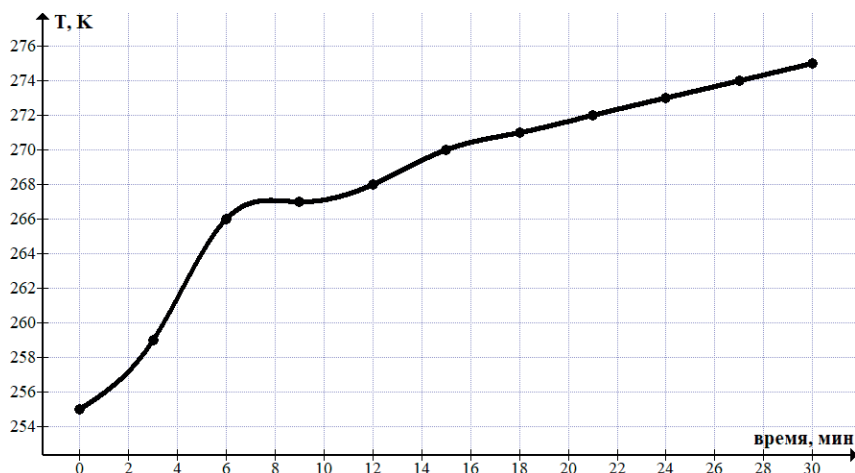


Рис. 3. Зависимость среднеобъемной температуры мякоти в блоке от длительности операции дефростации

В таблице представлены пошаговые величины температур по глубине высоты блока, варьируемые в течение процедуры дефростации,

и средние их величины для узлов координатной сетки $T_{cp}, ^\circ K$, на основании которых построен график, представленный на рисунке 3.

Значения температур в узловых точках модели, разбитых в виде сетки по толщине брикета и от продолжительности процесса размораживания

		Продолжительность дефростации										
		30 минут										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
↑ высота слоя брикета 5 см ↓	0	255.15	264.658	281.649	277.17	277.86	278.361	279.062	279.762	280.469	281.161	281.836
	1	255.15	261.001	270.072	272.59	272.516	273.506	274.334	275.244	276.126	276.996	277.838
	2	255.15	258.82	264.095	266.788	268.267	269.276	270.421	271.491	272.553	273.574	274.561
	3	255.15	257.565	260.906	262.878	264.698	266.12	267.423	268.684	269.879	271.027	272.126
	4	255.15	256.92	259.325	260.788	262.473	264.092	265.562	266.933	268.227	269.455	270.625
	5	255.15	256.722	258.846	260.141	261.735	263.391	264.927	266.34	267.667	268.923	270.118
	6	255.15	256.92	259.325	260.788	262.473	264.092	265.562	266.933	268.227	269.455	270.625
	7	255.15	257.565	260.906	262.878	264.698	266.12	267.423	268.684	269.879	271.027	272.126
	8	255.15	258.82	264.095	266.788	268.267	269.276	270.421	271.491	272.553	273.574	274.561
	9	255.15	261.001	270.072	272.59	272.516	273.506	274.334	275.244	276.126	276.996	277.838
	10	255.15	264.658	281.649	277.17	277.86	278.361	279.062	279.762	280.469	281.161	281.836

Продолжительность размораживания, мин	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Среднеобъемная температура мякоти $T_{cp}, ^\circ K$	255	259	266	267	268	270	271	272	273	274	275

Следует отметить, что в конце процедуры размораживания температура в центре брикета с арбузной мякотью, судя по данным таблицы, меньше криоскопической, однако продолжать

процесс дефростации не имеет смысла, так как в дальнейшем произойдет самопроизвольное выравнивание температур между поверхностью образца и его центром.

Выводы. Таким образом, путем моделирования тепломассообменных процессов при размораживании определена рациональная продолжительность операции дефростации блоков мякоти арбуза в рамках температурных и технологических ограничений посредством введения обоснованных допущений при адаптации модели к объекту исследования и ее решению.

Разработаны режимные параметры размораживания мякоти арбуза в дефростере камерного типа, которые включают:

– температуру подаваемого воздуха в дефростер – 25 ± 1 °С;

– скорость движения воздуха в рабочей камере – 4 ± 1 м/с;

– размер замороженного брикета – $0,15 \times 0,15 \times 0,05$ м,

Могут использоваться для проектирования процесса дефростации в технологии получения ликопина из арбузной мякоти.

Литература

1. Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2030 г. URL: <https://barley-malt.ru/wp-content/uploads/2019/11/proekt-strategyy-razvytyja-pyschevoj-y-pererabatyvajuschej-promyshlennosty-rf.pdf> (дата обращения: 25.01.2021).
2. Пищевые добавки. Дополнения к «Медико-биологическим требованиям и санитарным нормам качества продовольственного сырья и пищевых продуктов». М.: Госкомсанэпиднадзор РФ, 1994. 44 с.
3. Авчиев М.И. Разработка технологии получения ликопина на основе пары штаммов гриба *Blakeslea trispora* ВСБ-129(-) и ВСБ-130(+): дис. ... канд. техн. наук: 05.18.10. М., 2003. 152 с.
4. Steinberg D., Parthasarathy S., Care T.E., Khoo J.C., Witztum J.L. Beyond cholesterol: Modifications of low-density lipoprotein that increases its atherogenicity // *N Engl J Med* 1989: V. 320. pp. 915–924.
5. В каких помидорах больше ликопина. URL: <https://otomatah.ru/v-kakix-pomidorax-bolshe-likopina.html> (дата обращения: 25.01.2021).
6. Арбуз – летнее лакомство. URL: <https://wowbodyslim.com/article/arbuz---letnee-lakomstvo> (дата обращения: 25.01.2021).
7. Российские исследователи научились получать ликопин из арбуза. URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/50996> (дата обращения: 25.01.2021).
8. Алексанян А.И. Совершенствование процессов получения замороженных рыбных

фаршевых гранулированных смесей: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12. СПб., 2018. 215 с.

9. Алексанян И.Ю., Буйнов А.А. Высокоинтенсивная сушка пищевых продуктов. Пеносушка. Теория. Практика. Моделирование: монография. Астрахань: АГТУ, 2004. 380 с.
10. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учеб. для вузов. 11-е изд. М.: Альянс, 2005. 753 с.

Literatura

1. Strategiya razvitiya pischevoj i pererabatyvayuschej promyshlennosti Rossijskoj Federacii na period do 2030 g. URL: <https://barley-malt.ru/wp-content/uploads/2019/11/proekt-strategyy-razvytyja-pyschevoj-y-pererabatyvajuschej-promyshlennosty-rf.pdf> (data obrascheniya: 25.01.2021).
2. Pischevye dobavki. Dopolneniya k «Mediko-biologicheskim trebovaniyam i sanitarnym normam kachestva prodovol'stvennogo syr'ya i pischevyh produktov». M.: Goskomsan'epidnadzor RF, 1994. 44 s.
3. Avchiev M.I. Razrabotka tehnologii polucheniya likopina na osnove pary shtammov griba *Blakeslea trispora* VSB-129(-) i VSB-130(+): dis. ... kand. tehn. nauk: 05.18.10. M., 2003. 152 s.
4. Steinberg D., Parthasarathy S., Care T.E., Khoo J.C., Witztum J.L. Beyond cholesterol: Modifications of low-density lipoprotein that increases its atherogenicity // *N Engl J Med* 1989: V. 320. pp. 915–924.
5. V kakih pomidorah bol'she likopina. URL: <https://otomatah.ru/v-kakix-pomidorax-bolshe-likopina.html> (data obrascheniya: 25.01.2021).
6. Arbuz – letnee lakomstvo. URL: <https://wowbodyslim.com/article/arbuz---letnee-lakomstvo> (data obrascheniya: 25.01.2021).
7. Rossijskie issledovateli nauchilis' poluchat' likopin iz arbuza. URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/50996> (data obrascheniya: 25.01.2021).
8. Aleksanyan A.I. Sovershenstvovanie processov polucheniya zamorozhennyh rybnyh farshevyh granulirovannyh smesey: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.18.12. SPb., 2018. 215 s.
9. Aleksanyan I.Yu., Bujnov A.A. Vysokointensivnaya sushka pischevyh produktov. Penosushka. Teoriya. Praktika. Modelirovanie: monografiya. Astrahan': AGTU, 2004. 380 s.
10. Kasatkin A.G. Osnovnye processy i apparaty himicheskoy tehnologii: ucheb. dlya vuzov. 11-e izd. M.: Al'yans, 2005. 753 s.