УДК 637.352:66.047.3.085.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ БАРОВАКУУМНОЙ СУШКИ СЫРОВ ПРИ НАЧАЛЬНОМ ПОВЫШЕНИИ И ПОНИЖЕНИИ ДАВЛЕНИЯ

В.А. Ермолаев*, Е.А. Равнюшкин

ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47

**e-mail: ermolaevvla@rambler.ru*

Дата поступления в редакцию: 28.04.2015
Дата принятия в печать: 30.06.2015

Сушка в условиях вакуума является одним из наиболее распространенных способов консервирования пищевых продуктов. Интенсифицировать данный процесс возможно за счет использования переменного давления – путем организации баровакуумной сушки. Настоящая работа посвящена исследованию процессов, происходящих при сушке продуктов в условиях переменного давления. В качестве объектов сушки выступали мягкие сыры, такие как Адыгейский, Рокфор и Русский камамбер. Опыты проводили при двух различных условиях: когда изначально объект сушки выдерживался под остаточным давлением с последующей сушкой под избыточным давлением и в условиях, когда объект изначально выдерживался под избыточным давлением с последующим обезвоживанием в условиях вакуума. В ходе опытов были установлены зависимости относительной массы мягких сыров, а также температуры в сушильной камере и в продукте от времени сушки. Установлено время обезвоживания мягких сыров: при изначальном понижении давления сушка сыров Адыгейский, Рокфор и Русский камамбер длится соответственно 490, 450 и 420 мин, при изначальном повышении давления – от 200 до 340 мин в зависимости от вида сыра и длительности выдержки. Приведены данные сравнения показателей сушки при баровакуумном и вакуумном способе обезвоживания. Обнаружено, что сушка при изначальном повышении давления является более эффективной. Анализ проведенных исследований позволил установить, что мягкие сыры наиболее эффективно выдерживать при избыточном давлении в течение 15 мин. Сухие сыры при таком режиме характеризуются органолептической оценкой в 62–64 балла из 75.

Баровакуумная сушка, мягкие сыры, давление

Введение

Внедрение нетрадиционных способов консервирования продуктов питания является важной задачей пищевой промышленности. Среди всех способов консервирования особо выделяется сушка. Такой метод основан на том, что при удалении влаги из продукта прекращаются либо значительно замедляются процессы жизнедеятельности микроорганизмов.

За последние десятилетия разработано достаточно большое количество способов сушки пищевых продуктов, основанных на разных принципах. Сушка с использованием вакуума позволяет проводить процесс более эффективно, поскольку в таком случае удается снизить температуру кипения влаги в продукте и проводить процесс при более низкой температуре. Для интенсификации процесса сушки в вакууме разработано достаточно много способов. Одной из разновидностей такого способа обезвоживания является баровакуумная сушка. Данная сушка осуществляется в среде переменного давления, за счет чего в продукте также возникает градиент давления, способствующий интенсификации процесса миграции влаги из внутренних слоев на поверхность и ее последующего испарения в окружающую среду [1, 2, 3].

В настоящее время баровакуумная сушка используется преимущественно для обезвоживания пиломатериалов. Несмотря на ее эффективность, в пищевой промышленности данный способ обезвоживания совершенно не исследован, данную технологию рассматривают преимущественно в деревообрабатывающей промышленности [1, 4, 5].

Целью настоящей работы является исследование возможности использования баровакуумной сушки для обезвоживания мягких сыров и анализ влияния параметров данной сушки на эффективность процесса.

Объекты и методы исследований

В качестве объектов сушки выступали мягкие сыры, такие как Адыгейский, Рокфор и Русский камамбер. Химический состав данных сыров отражен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав мягких сыров [6]

Показатель	Массовая доля компонента		
	Адыгейский	Рокфор	Русский камамбер
Вода, %	56,0	45,0	52,0
Белки, %	19,8	20,5	15,3
Жиры, %	19,8	27,5	28,8
Насыщенные жирные кислоты, %	12,7	15,3	18,3
Холестерин, мг%	54,0	62,0	78,0
Сумма моно- и дисахаридов, %	1,5	0	0,1
Усвояемые углеводы, %	1,5	0	0,1
Органические кислоты, %	0,1	1,8	0,9
Зола, %	2,8	5,2	2,6
Энергетическая ценность, ккал	264	335	324

Вышеуказанные мягкие сыры характеризуются достаточно высокой массовой долей влаги, которая составляет 40÷60 %. Содержание белков в рассмотренных сырах составляет порядка 15÷20 %. Соотношение белков и жиров в мягких сырах Адыгейский, Рокфор и Русский камамбер равно соответственно 1:1; 1:1,3 и 1:1,9. По концентрации золы сыры Адыгейский и Русский камамбер примерно равны – содержание данного элемента составляет соответственно 2,8 и 2,6 %, в то время как у сыра Рокфор наблюдается повышенное содержание золы – 5,2 %. Данный сыр из всех представленных сыров характеризуется также наибольшей энергетической ценностью в 335 ккал.

Баровакуумную сушку осуществляли следующим образом. При сушке с изначальным понижением давления после укладки продукта в рабочую камеру включали вакуум-насос, создающий давление 4–5 кПа. Продукт выдерживали при пониженном давлении в течение 5 мин, после чего давление повышали до атмосферного, нагнетали избыточное давление в 25 кПа и включали лампы нагрева, повышающие температуру в камере до 60 °С. Весь последующий процесс сушки осуществлялся при повышенном давлении. При сушке с изначальным повышением давления вначале производили создание избыточного давления в камере 25 кПа, продукт выдерживали при таких условиях в течение 1, 5, 15 и 30 мин (в различных опытах), после чего давление сбрасывали до атмосферного, производили вакуумирование камеры до остаточного давления 6–7 кПа и включали инфракрасные лампы, нагревающие продукт до 60 °С.

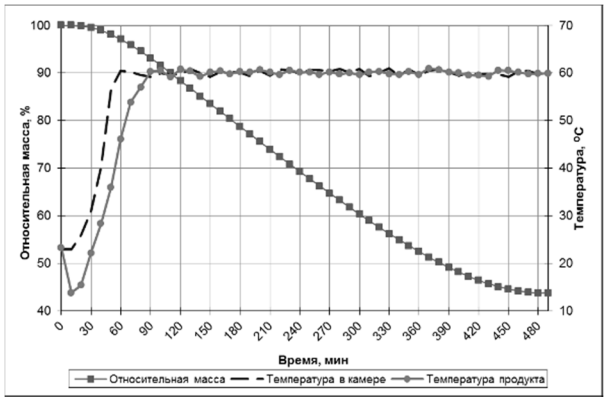
Органолептическую оценку проводили по таким показателям, как запах, вкус, цвет, консистенция, форма. Каждый из показателей оценивался по 15-балльной шкале. Суммарная оценка составляла 75 баллов.

Результаты и их обсуждение

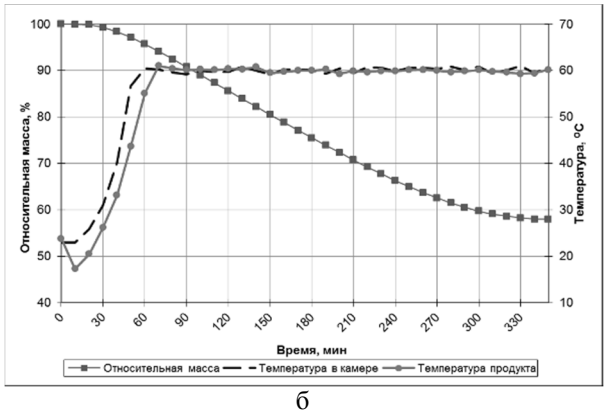
Вначале были проведены экспериментальные исследования баровакуумной сушки сыров при начальном понижении давления в камере. Предполагалось, что пониженное давление в камере будет способствовать интенсивному движению влаги из внутренних слоев наружу, а последующее повышение давления до атмосферного и создание избыточного давления позволит снизить энергозатраты на сушку ввиду меньшего потребления мощности вакуумного насоса.

В ходе исследований снимались показания массы сыров в процессе сушки, температуры в камере и в центре продукта. Соответствующие графики представлены на рис. 1.

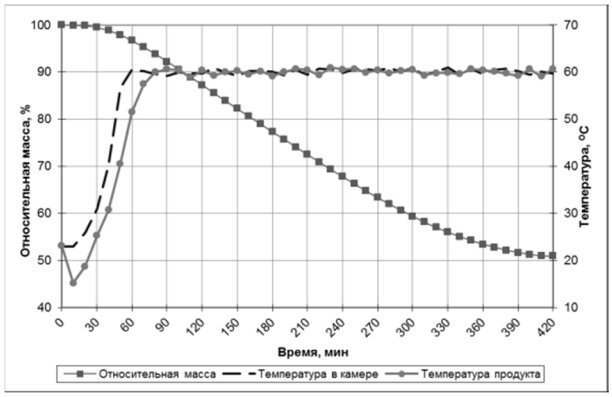
После включения вакуум-насоса за счет резкого уменьшения давления наблюдается понижение температуры продукта на 5÷10 °С. Относительная масса при этом меняется незначительно. После выдержки продукта при пониженном давлении в течение 5 мин осуществлялось повышение давления до атмосферного, создание избыточного давления и включались инфракрасные лампы нагрева. При этом происходил значительный рост скорости удаления влаги, наибольшие значения которой наблюдались через 90÷120 мин после начала процесса и составляли порядка 10 %/ч.



а



б



в

Рис. 1. Графики изменения относительной массы и температуры в процессе баровакуумной сушки сыров Адыгейский (а), Рокфор (б) и Русский камамбер (в)

Температура в камере достигала заданного значения в 50 °С через 60 мин после начала процесса сушки. Что касается продукта, то температура в нем достигала нужного уровня через 90, 70 и 80 мин соответственно для сыров Адыгейский, Рокфор и Русский камамбер. После того как продукт прогревался до необходимой температуры, наблюдалось относительное постоянство скорости сушки. Через 210÷240 мин скорость сушки начинает снижаться. Сушка осуществлялась до достижения содержания влаги в продукте порядка 5 %.

Установлено, что продолжительность сушки сыров с большим исходным содержанием влаги выше. Так, длительность баровакуумной сушки Адыгейского сыра составила 490 мин, для сыров Рокфор и Русский камамбер это время было равно 420 и 350 мин.

Для сравнения эффективности были проведены также исследования по вакуумной сушке сыров при той же температуре, в ходе которых определялась продолжительность сушки и органолептические показатели готового продукта.

Сравнительный анализ продолжительности сушки, энергозатрат и органолептической оценки представлен в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительный анализ показателей сушки

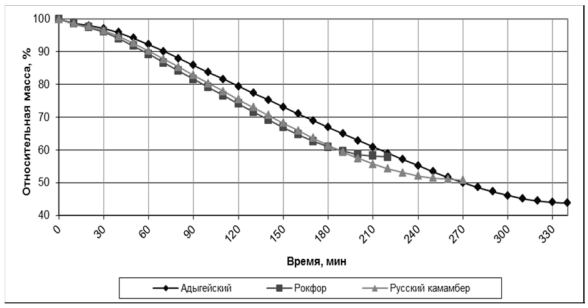
Показатель	Адыгейский	Рокфор	Русский камамбер
Вакуумная сушка			
Органолептическая оценка, балл	62	63	61
Время сушки, мин	360	230	280
Удельные энергозатраты, кВт/кг влаги	3,45	2,98	3,16
Баровакуумная сушка			
Органолептическая оценка, балл	62	61	60
Время сушки, мин	490	350	420
Удельные энергозатраты, кВт/кг влаги	1,18	1,02	1,24

Представленные результаты исследований показывают, что использование баровакуумной сушки при изначальном понижении давления не дает возможности повысить качество продукта по сравнению с сырами вакуумной сушки. Общая органолептическая оценка сухих сыров вакуумной и баровакуумной сушки составила 60÷63 балла из 75 для различных наименований сыров.

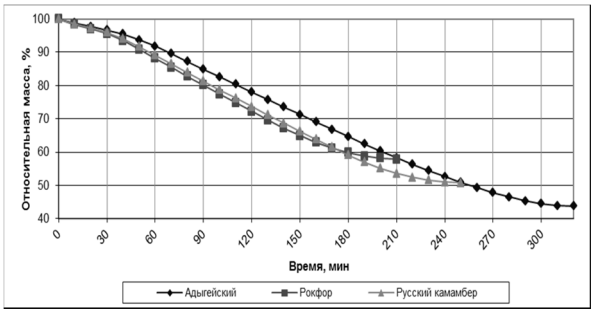
Баровакуумная сушка с изначальным понижением давления дает возможность снизить энергозатраты на сушку, что обусловлено меньшим энергопотреблением вакуум-насоса. Однако при этом значительно повышается продолжительность процесса: на 120÷160 мин. Кроме того, суммарная органолептическая оценка при обоих способах сушки практически одинаковая, в некоторых случаях при баровакуумной сушке она ниже, что дает основания утверждать о нецелесообразности использования такого способа сушки.

Следующим этапом было исследование процессов баровакуумной сушки при изначальном повышении давления. Именно такой способ используется при сушке древесины [6]. За счет выдержки продукта под избыточным давлением происходит быстрый прогрев продукта до заданной температуры за счет более высокой теплоемкости сушильного агента и возникающего градиента давления между продуктом и окружающей средой после понижения давления до атмосферного и вакуумирования рабочей камеры.

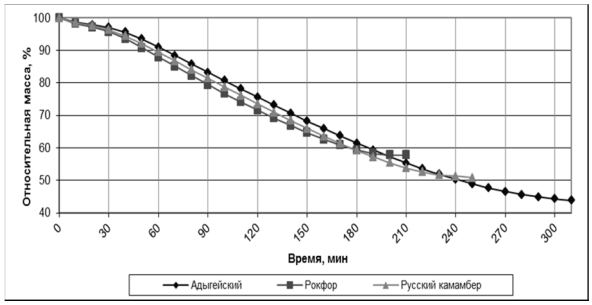
Опыты проводили при той же температуре нагрева 60 °С. При этом исследовали влияние продолжительности выдержки продукта при избыточном давлении, составляющем 25 кПа перед вакуумной сушкой при температуре теплоносителя 60 °С. На рис. 2 представлены графики изменения относительной массы мягких сыров при баровакуумной сушке с изначальным повышением давления.



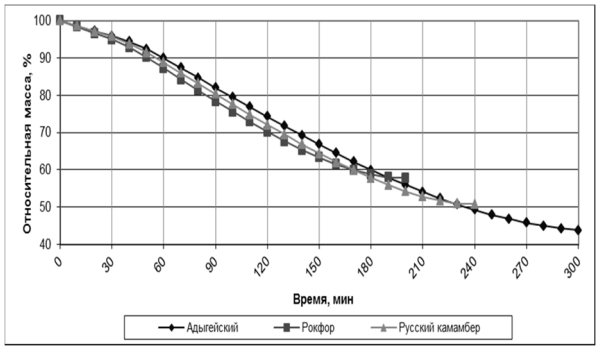
а



б



в



г

Рис. 2. Графики изменения относительной

массы мягких сыров в процессе баровакуумной сушки при выдержке 1 мин (а), 5 мин (б), 15 мин (в) и 30 мин (г)

Сравнительный анализ данных показывает, что использование предварительного повышения давления является более эффективным по сравнению с предварительным вакуумированием и позволяет сократить продолжительность сушки. При этом с повышением длительности выдержки сокращается время обезвоживания. На первом этапе, когда продукт выдерживают под избыточным давлением при заданной температуре, наблюдается повышение скорости сушки до 8÷10 %/ч. После установленного промежутка времени давление резко сбрасывали до атмосферного и производили вакуумирование камеры. При этом наблюдалось некоторое снижение температуры продукта на 5÷15 °С. Скорость сушки достигала своего наибольшего значения через 60÷70 мин и составляла от 12 до 18 %/ч в зависимости от вида сыра и длительности выдержки под избыточным давлением. Через 90÷210 мин (в зависимости от длительности выдержки и вида сыра) скорость сушки начинает снижаться.

Для сравнения эффективности режимов сушки на рис. 3 представлены графики зависимости продолжительности обезвоживания и величины энергозатрат.

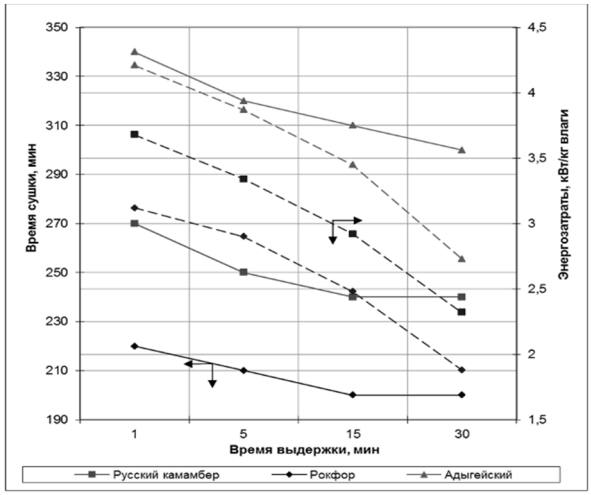


Рис. 3. Зависимость времени сушки (сплошная линия) и величины удельных энергозатрат (штриховая линия) от длительности выдержки продукта под избыточным давлением при баровакуумной сушке

При повышении длительности выдержки за счет сокращения времени сушки, а также за счет уменьшения времени действия вакуум-насоса наблюдается снижение энергозатрат. Так, увеличение длительности выдержки от 1 до 5 мин влечет за собой снижение энергозатрат в среднем на 8 %. Дальнейшее повышение времени выдержки до 15 и 30 мин обусловливает сокращение удельных энергозатрат еще в среднем на 12 и 22 % соответственно.

Длительность сушки при повышении продолжительности выдержки от 1 до 15 мин сокращается на 30 мин для сыров Адыгейский и Русский камамбер и на 20 мин для сыра Рокфор. При дальнейшем повышении времени выдержки до 30 мин лишь у сыра Адыгейский наблюдается сокращение продолжительности сушки на 10 мин.

Для выбора конкретного времени выдержки продукта под избыточным давлением необходимо учитывать также влияние режимов на качественные показатели продукта. В табл. 3 представлены соответствующие данные по органолептической оценке сыров.

Таблица 3

Органолептическая оценка сухих сыров, балл

Время выдержки, мин	Адыгейский	Рокфор	Русский камамбер
1	66	65	67
5	65	64	65
15	64	62	63
30	60	59	58

Наибольшие показатели органолептической оценки наблюдались при выдержке продукта в течение 1 мин и составляли 65÷67 баллов. Повышение длительности выдержки до 5 и 15 мин приводило к снижению качественной оценки до 64÷65 и 62÷64 баллов. Повышение длительности выдержки до 30 мин приводило к уменьшению качественной оценки до 58÷60 баллов. Установлено, что сыры наиболее эффективно выдерживать при избыточном давлении в течение 15 мин. По сравнению с выдержкой в 1 мин удается сократить время сушки на 20÷30 мин и снизить энергозатраты на 20 %. Выдерживать продукт в течение 30 мин нецелесообразно, поскольку при этом существенно теряется качество продукта.

Таким образом, в результате проведенной работы установлено, что баровакуумную сушку мягких сыров эффективнее осуществлять при изначальном повышении давления. При этом длительность выдержки продукта должна составлять порядка 15 мин. При данном режиме и температуре нагрева 60 °С время сушки сыров Адыгейский, Рокфор и Русский камамбер составляет 310, 200 и 240 мин соответственно, а органолептическая оценка – 62–64 балла из 75.

Список литературы

1. Ковальский, В.А. Баровакуумные сушилки / В.А. Ковальский // Химическая промышленность. – 2005. – Т. 82. – № 5. – С. 249–252.

2. Ковальский, В.А. Баровакуумные сушилки / В.А. Ковальский // Пищевая промышленность. – 2005. – № 6. – С. 6–7.

3. Ковальский, В.А. Агрегат для баровакуумной сушки пиломатериалов / В.А. Ковальский // Деревообрабатывающая промышленность. – 2005. – № 1. – С. 8–11.

4. Defo, M., Fortin, Y. and Cloutier, A. Modeling superheated steam vacuum drying of wood. Drying Technology, 2004, no. 22, pp. 2231–2253.

5. Гареев, Ф.Х. Нетрадиционная сушка древесины: вакуумная и СВЧ / Ф.Х. Гареев // Лесная промышленность. – 2004. – № 5. – С. 62–63.

6. Пат. 2307298, МПК F26B9/06, F26B5/04, F26B21/04. Агрегат для баровакуумной сушки пиломатериалов / Ковальский В.А. – № 2006122368/06; заявл. 22.06.2006; опубл. 27.09.2007.

INVESTIGATION OF BAROVACUUM CHEESE DRYING AT INITIAL PRESSURE INCREASE AND DECREASE

V.A. Ermolaev*, E.A. Ravnushkin

Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia

**e-mail: ermolaevvla@rambler.ru*

Received: 28.04.2015
Accepted: 30.06.2015

Vacuum drying is one of the most widespread ways of food preservation. It is possible to intensify this process using alternating pressure i.e. performing barovacuum drying. The given work is devoted to investigation of processes taking place during food products drying under the conditions of alternating pressure. Soft cheeses, such as “The Adygei cheese”, “The Roquefort cheese” and “The Russian Camembert cheese”, were the objects of drying. Experiments were made under two different conditions: when the object of drying was initially held under the residual pressure with subsequent drying under the excessive pressure, and under the conditions when the object was initially held under the excessive residual pressure with subsequent dehydration under vacuum. During the experiments, the dependences of relative mass of soft cheeses as well as the temperatures in the drying chamber and in the product on the drying time have been established. The dehydration time of soft cheeses has been determined. At the initial decrease of pressure the drying of “The Adygei cheese”, “The Roquefort cheese” and “The Russian Camembert cheese” lasts 490, 450 and 420 min respectively. At the initial increase of pressure, it lasts from 200 to 340 min depending on the type of cheese and the duration of curing. The comparison data of drying indices when using barovacuum and vacuum dehydration have been given. It has been revealed that drying at the initial increase of pressure is more effective. The analysis of the conducted studies enables to establish that it is more effective to hold soft cheeses under excessive pressure for 15 min. At such a mode, the organoleptic mark of dry cheeses is 62-64 points out of 75 points.

Barovacuum drying, soft cheeses, pressure

References

1. Koval'skij V.A. Barovakuumnye sushilki [Barovacuum dryers]. *Himicheskaja promyshlennost'* [Chemical Industry], 2005, vol. 82, no. 5, pp. 249–252.
2. Koval'skij V.A. Barovakuumnye sushilki [Barovacuum dryers]. *Pishhevaja promyshlennost'* [Food Industry], 2005, no. 6, pp. 6–7.
3. Koval'skij V.A. Agregat dlja barovakuumnoj sushki pilomaterialov [Unit for barovakuumny drying of timber]. *Derevoobrabatyvajushhaja promyshlennost'* [Woodworking industry], 2005, no. 1, pp. 8–11.
4. Defo M., Fortin Y. and Cloutier A. Modeling superheated steam vacuum drying of wood. *Drying Technology*, 2004, no. 22, pp. 2231–2253.
5. Gareev F.H. Netradicionnaja sushka drevesiny: vakuumnaja i SVCh [Nonconventional drying of wood: vacuum and microwave oven]. *Lesnaja prom'shshennost'* [Timber Industry], 2004, no 5, pp. 62–63.
6. Koval'skij, V.A. *Agregat dlja barovakuumnoj sushki pilomaterialov* [The unit for barovacuum drying of timber]. Patent RF, no. 2307298, 2007.

Дополнительная информация / Additional Information

Ермолаев, В.А. Исследование процессов баровакуумной сушки сыров при начальном повышении и понижении давления / В.А. Ермолаев, Е.А. Равнюшкин // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – Т. 38. – № 3. – С. 83-87.

Ermolaev V.A., Ravnushkin E.A. Investigation of barovacuum cheese drying at initial pressure increase and decrease. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2015, vol. 38, no. 3, pp. 83-87 (In Russ.).

Ермолаев Владимир Александрович
д-р техн. наук, доцент кафедры теплохладотехники, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47,
тел.: +7 (904) 965-85-39, e-mail: ermolaevvla@rambler.ru

Равнюшкин Елисей Андреевич
аспирант кафедры теплохладотехники, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47,

Vladimir A. Ermolaev
Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Heat Refrigerant Equipment, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia, phone: +7 (904) 965-85-39, e-mail: ermolaevvla@rambler.ru

Elisey A. Ravnushkin
Postgraduate Student of the Department of Heat Refrigerant Equipment, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia