

УДК 633.854.78

Сушка морских водорослей инфракрасным излучением

Ободов Д.А., канд. техн. наук **Демидов С.Ф.**,

д-р техн. наук, проф. **Вороненко Б.А.**

demidovserg@mail.ru

Университет ИТМО

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Морские водоросли являются ценным сырьём для получения различных продуктов: консервов с овощными добавками, агара, ламинарина, порошков, используемых в медицине, пищевой, фармацевтической промышленности. Сушку морских водорослей осуществляют на сушилках различных типов и конструкций: туннельных, барабанных и др. Они имеют ряд существенных недостатков: малую производительность, значительные металло- и энергоёмкость, длительное время сушки (до 10 и более часов), сложность обслуживания, ограничивающих коэффициент использования. Необходимо от традиционных способов, заложенных в существующих машинах, переходить к проектированию и разработке установок с прогрессивной технологией сушки. Сушка пищевых продуктов, в том числе и морских водорослей, является сложным теплофизическим и технологическим процессом, от которого во многом зависит качество готовой продукции, интенсификация процесса — проблема актуальная. Развитие вопросов теории сушки водорослей, создание высокоэффективных и экономичных сушильных аппаратов позволит снизить энергоёмкость и интенсифицировать процесс сушки.

Ключевые слова: морские водоросли, инфракрасное излучение, сушка, влагосодержание, температура, плотность теплового потока.

Drying seaweed by infrared radiation

Obodov D. A., Ph.D. **Demidov S.F.**,

D.Sc. prof. **Voronenko B.A.**,

demidovserg@mail.ru

University ITMO

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Seaweed is a valuable raw material for various products: canned food with vegetable additives, agar, laminarin, powders used in medicine, food and pharmaceutical industries. Drying seaweed dryers performed on different types and designs: tunnel, drum, etc. They have some significant drawbacks: low productivity, significant metal and energy consumption, long drying time (10 hours or more), the complexity of services, limiting utilization. Necessary from the traditional ways, embodied in existing machines, move to design and develop systems with advanced technology of drying. Drying foods including seaweed, is a complex thermal and process, which largely depends on the quality of the finished product, the intensification of the process - the actual problem. The development of the theory of drying algae, the development of highly efficient and dryers will reduce energy consumption to intensify the process of drying.

Keywords: seaweed, infrared drying, moisture content, temperature, heat flux density.

Бурые морские водоросли (ламинария) — (промысловое название используемых в пищу таких водорослей — морская капуста) — древнейшее растение нашей планеты. Они обладают уникальной способностью извлекать из морской воды и концентрировать в своих тканях различные микро- и макроэлементы: бор, железо, калий, кальций, фтор и др. Но самое ценное в них — высокое содержание йода, который находится в ламинарии в достаточно редкой легко усваиваемой человеком органической форме. Водоросли перспективны с точки зрения урожайности и содержания белка и аминокислот. Морские водоросли являются ценным сырьём для получения различных продуктов: консервов с овощными добавками, агара, ламинарина, порошков, используемых в медицине, пищевой, фармацевтической промышленности.

Сушку морских водорослей осуществляют на сушилках различных типов и конструкций: туннельных, барабанных и др. Они имеют ряд существенных недостатков: малую производительность, значительные металло- и энергоёмкость, длительное время сушки (до 10 и более часов), сложность обслуживания, ограничивающих коэффициент использования [1-4].

Необходимо от традиционных способов, заложенных в существующих машинах, переходить к проектированию и разработке установок с прогрессивной технологией сушки. Развитие вопросов теории сушки водорослей, создание высокоэффективных и экономичных сушильных аппаратов позволит снизить энергоёмкость и интенсифицировать процесс сушки.

Данная статья посвящена исследованию процесса сушки морской капусты и бурых водорослей инфракрасным излучением выделенной длины волны в зависимости от технологических и конструктивных параметров проведения процесса.

В Институте холода и биотехнологий НИУ ИТМО проводятся работы по сушке пищевых продуктов инфракрасным излучением [5-8].

В данной работе изучена зависимость времени процесса сушки бурых водорослей, морской капусты на сетчатом поддоне из нержавеющей стали и тефлонового материала с ячейкой 2x2 мм, с двух сторон ИК - излучением в зависимости от толщины слоя продукта, плотности теплового потока, расстояния от ИК - излучателя до слоя.

Эксперименты проводились по плану полного факторного эксперимента (ПФЭ) на трех уровнях типа 2^3 на лабораторной установке, в которой в качестве источника излучения использовались линейные кварцевые излучатели диаметром 0.012 м с керамической функциональной оболочкой (рис. 1). Для снятия температурных полей использовались хромель-алюмелевые ТХА 9419-23 термодатчики градуировки ХА₉₄, с диаметром проволоки $2.5 \cdot 10^{-4}$ м. Измерение плотности теплового потока осуществлялось при помощи термоэлектрических датчиков плотности теплового потока ДТП 0924-Р-О-

П-50-50-Ж-О. Многоканальный измеритель теплопроводности ИТ-2 в комплекте с преобразователями плотности теплового потока и термопарами использовался в качестве устройства для автоматизированного сбора и обработки информации. Измерение температуры поверхности слоя продукта производилось при помощи инфракрасного термометра RaytekMiniTemp МТ6. Для измерения изменения влажности массы морских водорослей в течение процесса сушки применялись весы GF-600. Для измерения влажности морских водорослей применялся анализатор влажности ЭЛВИЗ.

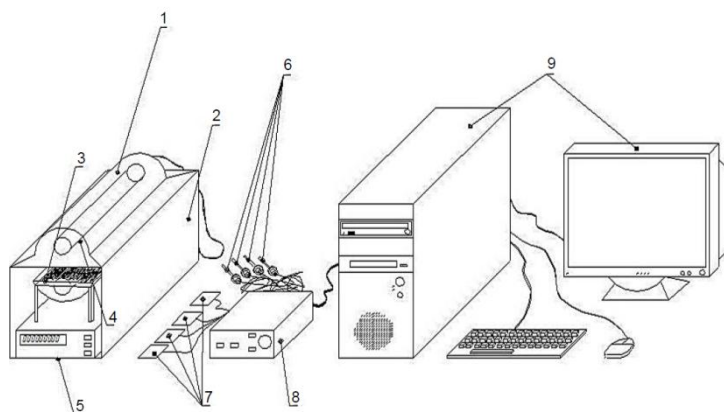


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования процесса тепловой обработки морских водорослей при ИК- излучении.

1 – отражатель, 2 – сушильная камера, 3 – подложка, 4 – инфракрасный излучатель, 5 – весы, 6 – термопары, 7 – датчики плотности теплового потока, 8 - измеритель теплопроводности ИТ-2, 9 - персональный компьютер.

Бурые водоросли и морскую капусту взвешивали и распределяли равномерно на сетчатом поддоне из нержавеющей стали и тефлонового материала с ячейкой 2x2 мм, при заданных параметрах, слой морских водорослей подвергался ИК-облучению с двух сторон. Продолжительность ИК - обработки при заданной плотности теплового потока ИК излучения определялась временем достижения конечного влагосодержания для морской капусты 15 кг/кг, бурых водорослей 15кг/кг и температуры продукта на поверхности не более 60°С.

В результате статистической обработки результатов экспериментов получены уравнения регрессии, адекватно описывающие временной процесс сушки морской капусты на сетчатых поддонах из нержавеющей стали (1) и тефлонового материала, сушки бурых водорослей на сетчатых поддонах из нержавеющей стали (3) и тефлонового материала (4) с ячейкой 2x2 мм при действии выбранных факторов:

$$Y = 600 - 60Z_1 + 12Z_2 + 6Z_3, \quad (1)$$

$$Y = 630 - 60Z_1 + 12Z_2 + 6Z_3, \quad (2)$$

$$Y = 450 - 55Z_1 + 10Z_2 + 6Z_3, \quad (3)$$

$$Y = 495 - 55Z_1 + 10Z_2 + 6Z_3, \quad (4)$$

где

Y - время тепловой обработки, мин,

Z_1 - плотность теплового потока ИК излучения, от 5,0 до 6,0 кВт/м²,

Z_2 - высота слоя морской капусты, от 20 до 30мм,

Z_3 - расстояние от ИК-излучателя до слоя морской капусты, от 50 до 60 мм.

Анализ уравнений регрессии (1)-(2) позволил получить информацию о степени влияния факторов на рассматриваемый процесс. Как видно из уравнения, наибольшее влияние из входных параметров оказали плотность теплового потока, высота слоя морской капусты и расстояние от ИК - излучателя до слоя продукта соответственно. Факторы Z_2 и Z_3 по мере их роста повышают, а фактор Z_1 снижает значение функции отклика Y .

На рисунках 2,3 представлены графики зависимости времени сушки морской капусты на сетчатом поддоне из нержавеющей стали итефлонового материала от высоты слоя при плотности потока ИК-излучателя $Z_1 = 5,0 \text{ кВт/м}^2$, расстояния от ИК-излучателя до слоя продукта $Z_3 = 50 \text{ мм}$ (кривая 1 и 2), $Z_3 = 60 \text{ мм}$ (кривая 3 и 4), высоты слоя продукта $Z_2 = 20 \text{ мм}$ (кривая 1 и 3), $Z_2 = 30 \text{ мм}$ (кривая 2 и 4).

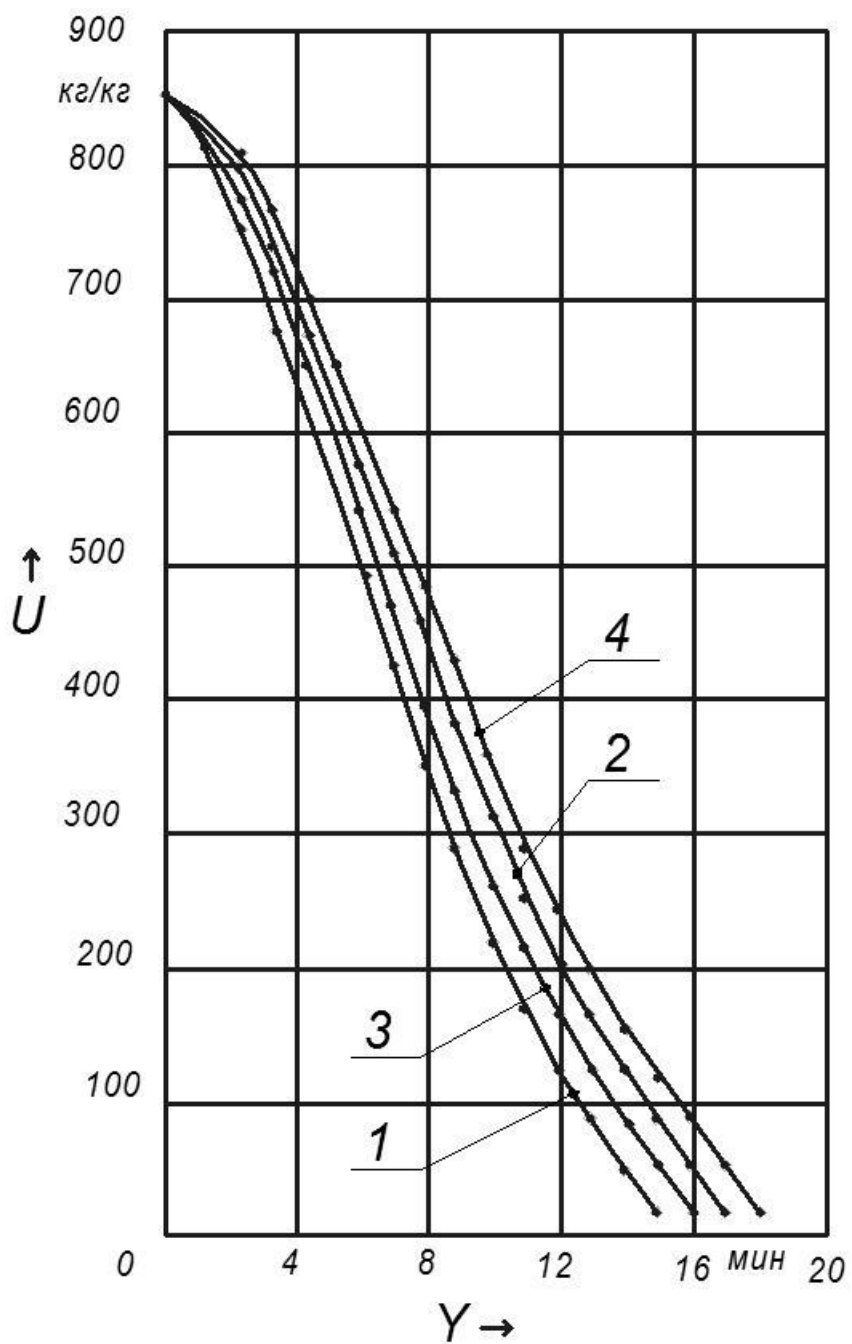


Рис. 2. Графики зависимости влагосодержания от времени сушки морской капусты на сетчатом поддоне из нержавеющей стали.

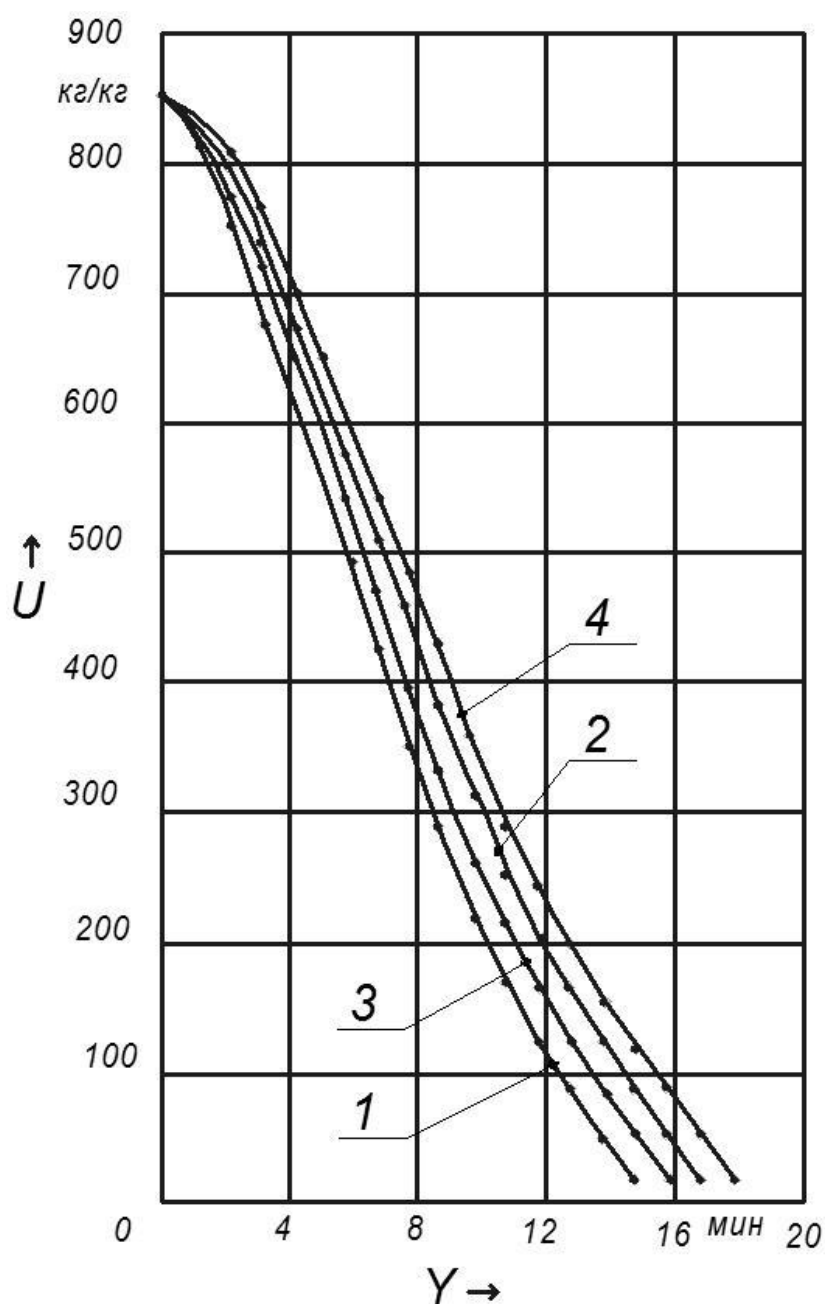


Рис. 3. Графики зависимости влагосодержания от времени сушки морской капусты на сетчатом поддоне из тефлонового материала.

На рисунке 4 представлены графики зависимости температуры сетчатого поддона из тефлонового материала (кривая 1) и верхнего слоя морской капусты (кривая 2) при высоте слоя продукта 20 мм, плотности теплового потока 5 кВт/м^2 и расстояния от слоя продукта до ИК-излучателя 50 мм.

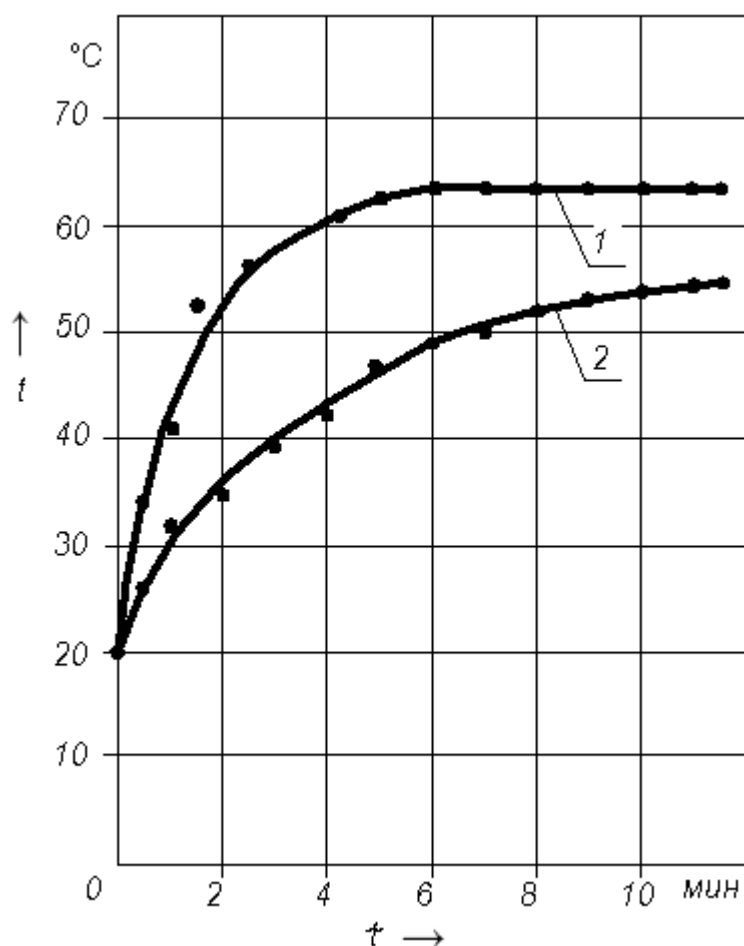


Рис. 4. Графики зависимости температуры сетчатого поддона из тефлонового материала и верхнего слоя морской капусты от времени сушки.

Исследования по сушке морской капусты показали, что только при плотности теплового потока от 5,0 до 6,0 кВт/м², температура высушенного продукта не превышает 52°C.

На рисунке 5 представлены графики зависимости температуры сетчатого поддона из нержавеющей стали (кривая 1) и верхнего слоя морской капусты (кривая 2) при высоте слоя продукта 20 мм, плотности теплового потока 5 кВт/м² и расстояния от слоя продукта до ИК-излучателя 50 мм.

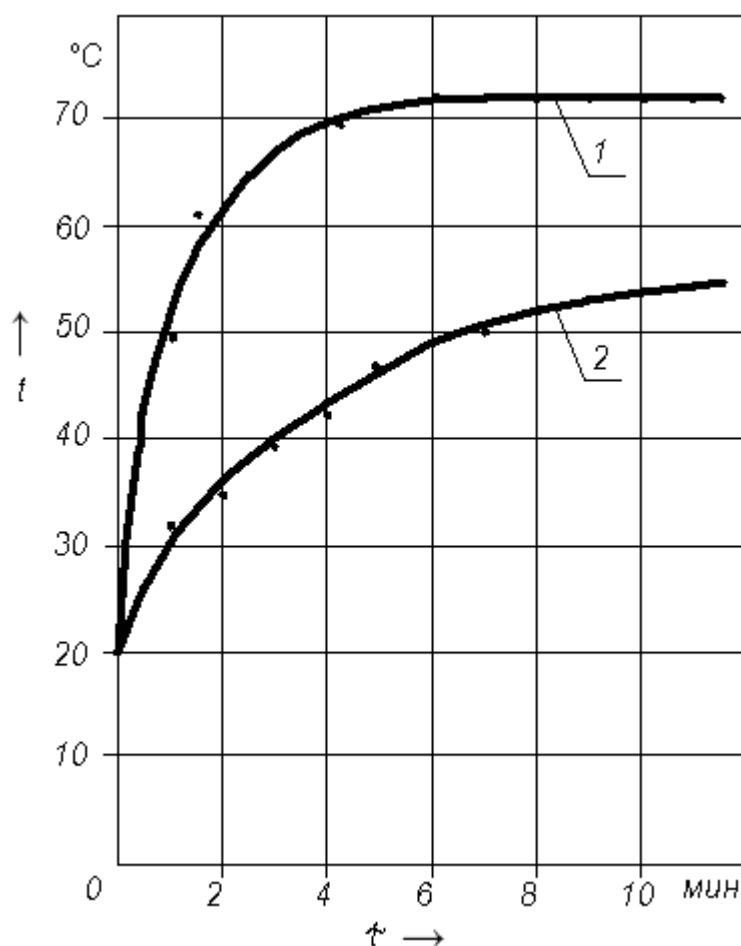


Рис. 5. Графики зависимости температуры сетчатого поддона из нержавеющей стали и верхнего слоя морской капусты от времени сушки.

Анализ уравнений регрессии (3)-(4) позволил получить информацию о степени влияния факторов на рассматриваемый процесс. Как видно из уравнения, наибольшее влияние из входных параметров оказывала плотность теплового потока, следующими по значимости оказались высота слоя бурых водорослей и расстояние отИК - излучателя до слоя продукта соответственно. Факторы Z_2 и Z_3 по мере их роста повышают, а фактор Z_1 снижает значение функцииотклика Y .

На рисунках 6, 7 представлены графики зависимости времени сушки бурых водорослей на сетчатом поддоне из нержавеющей стали и тефлонового материала при достижении конечного влагосодержания 25кг/кг и температуры поверхности продукта не более 60°C от высоты слоя при плотности потока ИК-излучателя $Z_1 = 5,0 \text{ кВт/м}^2$, расстояния от ИК-излучателя до слоя продукта $Z_3 = 50 \text{ мм}$ (кривая 1 и 2), $Z_3 = 60 \text{ мм}$ (кривая 3 и 4), высоты слоя продукта $Z_2 = 20 \text{ мм}$ (кривая 1 и 3), $Z_2 = 30 \text{ мм}$ (кривая 2 и 4).

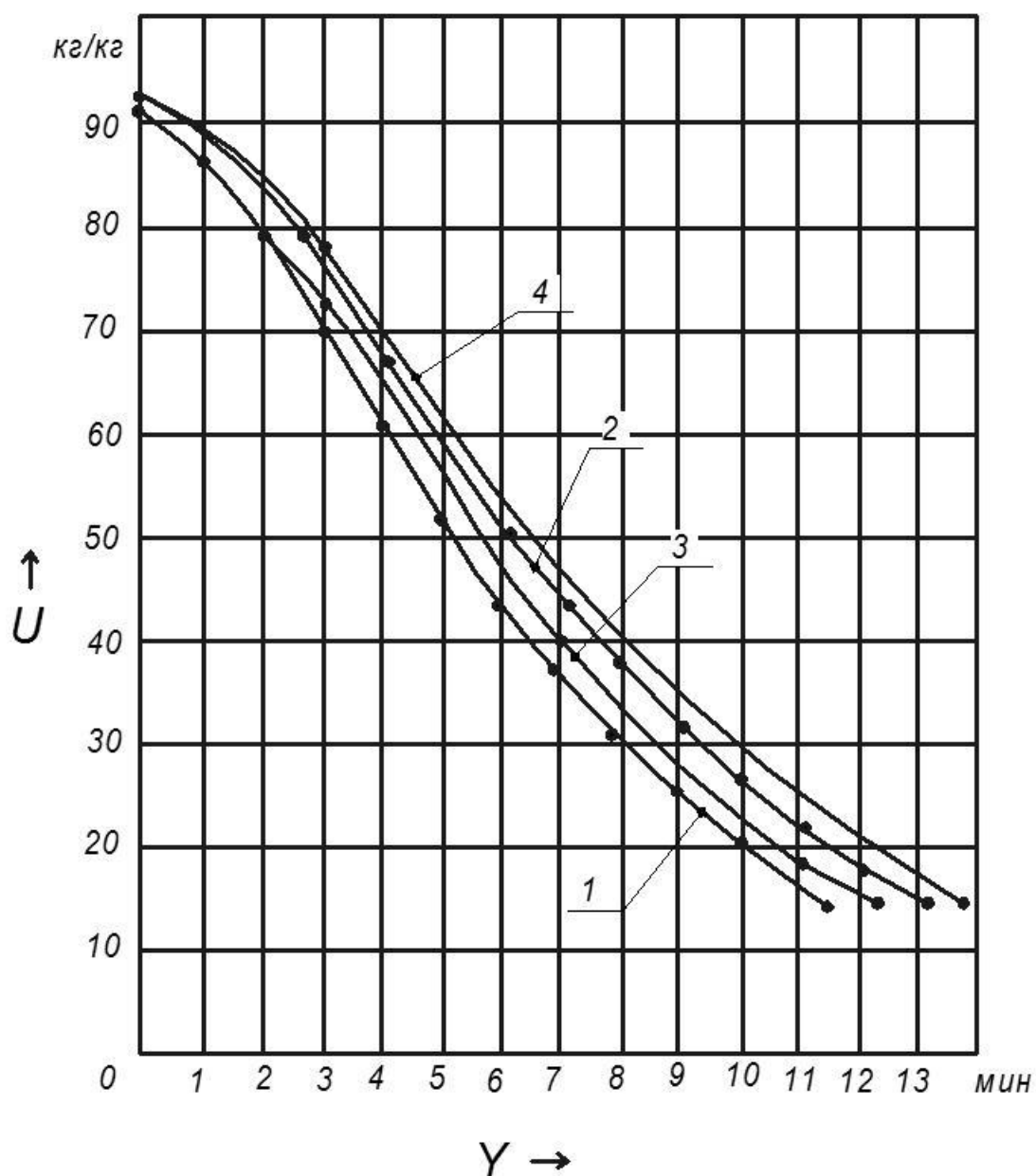


Рис. 6. График зависимости влажности бурых водорослей от времени сушки на сетчатом поддоне из нержавеющей стали.

В результате проведенных экспериментальных исследований была выявлена зависимость процесса сушки инфракрасным излучением выделенным интервалом частот бурых водорослей на сетчатом поддоне из тефлонового материала при достижении конечного влагосодержания 25 кг/кг и температуры поверхности продукта не более 60°C от параметров проведения процесса.

На рисунке 7 представлены графики зависимости времени сушки инфракрасным излучением выделенным интервалом частот бурых водорослей на сетчатом поддоне из тефлонового материала при достижении конечного влагосодержания 25 кг/кг и

температуры поверхности продукта не более 60°C от высоты слоя при плотности потока ИК-излучателя $Z_1 = 5,0 \text{ кВт/м}^2$, расстояния от ИК-излучателя до слоя продукта $Z_3 = 50 \text{ мм}$ (кривая 1 и 2), $Z_3 = 60 \text{ мм}$ (кривая 3 и 4), высоты слоя продукта $Z_2 = 20 \text{ мм}$ (кривая 1 и 3), $Z_2 = 30 \text{ мм}$ (кривая 2 и 4).

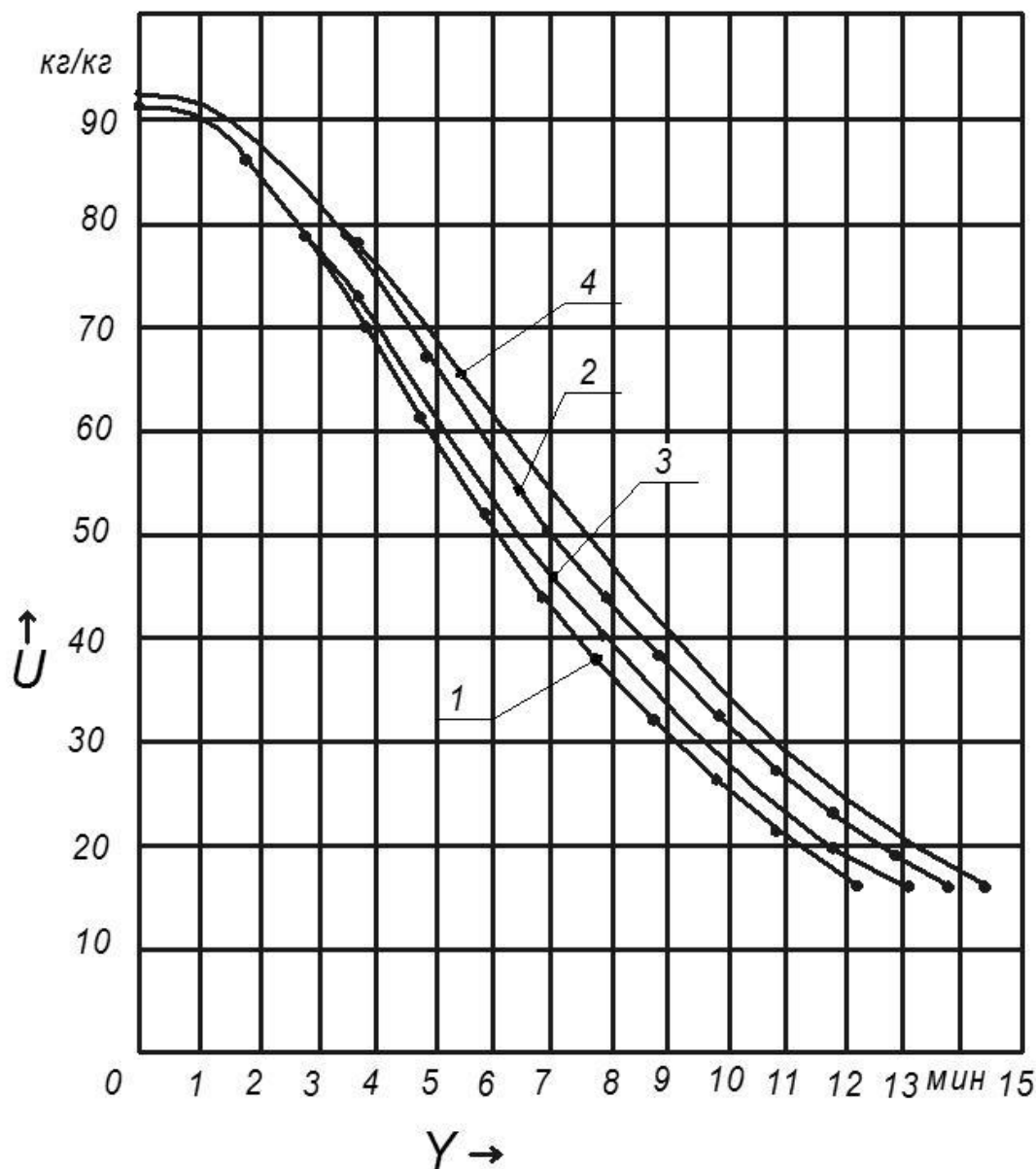


Рис. 7. График зависимости влажности от времени сушки бурых водорослей на сетчатом поддоне из тефлонового материала.

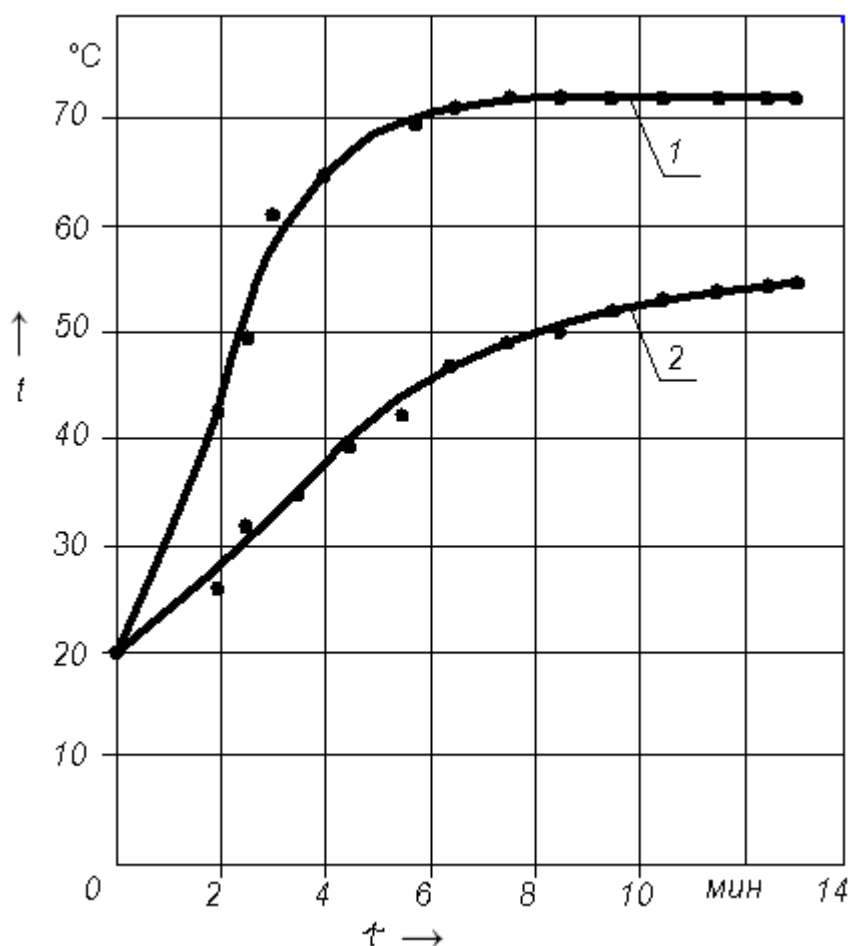


Рис. 8. Графики зависимости температуры сетчатого поддона из нержавеющей стали и верхнего слоя бурых водорослей от времени сушки.

На рисунке 8 представлены графики зависимости температуры поддона из нержавеющей сетки (кривая 1) и верхнего слоя бурых водорослей (кривая 2) при высоте слоя продукта 20 мм, плотности теплового потока 5 кВт/м² и расстояния от слоя продукта до ИК-излучателя 50 мм.

Экспериментальные исследования показали, что только при плотности теплового потока от 5,0 до 6,0 кВт/м² температура высушенного продукта не превышает 54°C, а температура поддона из нержавеющей сетки не превышает 72°C.

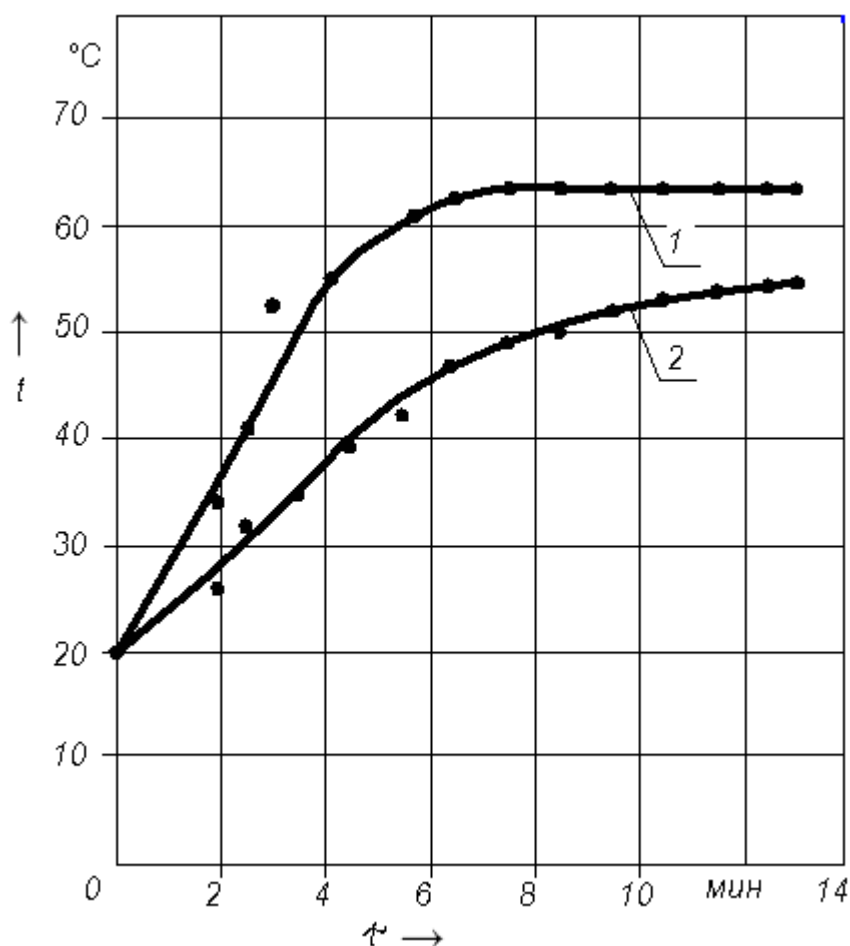


Рис. 9. Графики зависимости температуры сетчатого поддона из тефлонового материала и верхнего слоя бурых водорослей от времени сушки.

На рисунке 9 представлены графики зависимости температуры сетчатого поддона из тефлонового материала (кривая 1) и верхнего слоя бурых водорослей (кривая 2) при высоте слоя продукта 20 мм, плотности теплового потока 5 кВт/м^2 и расстояния от слоя продукта до ИК-излучателя 50 мм.

Экспериментальные исследования показали, что только при плотности теплового потока от $5,0$ до $6,0 \text{ кВт/м}^2$ температура высушенного продукта не превышает 54°C , а температура поддона из тефлоновой сетки не превышает 64°C .

Получены наилучшие параметры проведения процесса сушки морских водорослей инфракрасным излучением выделенной длины волны.

Разработаны исходные требования и техническое задание на аппарат для сушки морских водорослей.

Список литературы

1. Погонец В.И. Разработка сушильной техники со взвешенно-закрученными потоками для морепродуктов. // Авторефер. дисс. доктора техн. наук. – М., 2004г., - 43с.
2. Погонец В.И. Промышленные аппараты для сушки ламинарии во взвешенно-закрученных потоках теплоносителя. Научные труды Дальрыбвтуза. – Владивосток, выпуск 2, 2008.- С. 253-263.
3. Погонец В.И. Способ сушки шинкованной ламинарии, обработанной сухой крупкой, полученной из водоросли и гидродинамика процесса ее кипения. Научные труды Дальрыбвтуза. – Владивосток, 2009.- С. 321-325.
4. Погонец В.И. Сушка морепродуктов во взвешенно-закрученных потоках. – Владивосток, 2000. - 193с.
5. Ободов Д.А. Некоторые аспекты сушки морских водорослей // Электронный научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». №2. 2012.
6. Ободов Д.А. О теплопроводности бурых водорослей / Ободов Д.А., Тамбулатова Е.В., Демидов С.Ф., Вороненко Б.А. // Электронный научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». №1. 2011.
7. Ободов Д.А. Математическое описание совместного тепломассопереноса при инфракрасном нагреве морской капусты. / Вороненко Б.А., Демидов С.Ф. // Электронный научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств» №2. 2012.
8. Патент 2463538 Российская Федерация, МПК F26B 3/30. Многоярусная камера инфракрасной сушки [Текст]/Ободов Д.А., Демидов С.Ф., Вороненко Б.А., Пеленко В.В.; заявитель и патентообладатель Ободов Д.А. – №2010151818/06; заявл.17.10.2010; опубл.10.10.2012, Бюл.№28.

References

1. Pogonets V.I. Development of drying equipment with deliberately - the twirled streams for seafood. Avtorefer. diss. doktora tekhn. nauk. – M. 2004. – 43p.

2. Pogonets V.I. Промышленные аппараты для сушки ламинарии во взвешенно-закрученных потоках теплоносителя. Научные труды Дальрыбвтуза. – Vladivostok. № 2. 2008. p. 253-263.
3. Pogonets V.I. Way of drying of the shredded laminaria processed dry krupky received from an alga and hydrodynamics of process of its boiling. Scientific works of Dalrybvtuz. – Vladivostok. 2009. p. 321-325.
4. Pogonets V.I. Drying of seafood in deliberately - the twirled streams. – Vladivostok, 2000. 193p.
5. Obodov D.A. Some aspects of drying of seaweed. Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv». №2. 2012.
6. Obodov D.A. About heat conductivity of brown seaweed. Obodov D.A., Tambulatova E.V., Demidov S.F., Voronenko B.A. Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv». 2011. №1.
7. Obodov D.A. The mathematical description of a joint heatmass transfer at infrared heating of sea cabbage. Voronenko B.A., Demidov S.F. Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv». 2012. №2.
8. Patent 2463538 Russian Federation, MPK F26V 3/30. Many-tier camera of infrared drying. Obodov D.A., Demidov S.F., Voronenko B.A., Pelenko V.V.; zayavitel' i patentoobladatel' Obodov D.A.- №2010151818/06; zayavl.17.10.2010; opubl.10.10.2012, Byul.№28.