

гоприятный эффект на процессы биохимической очистки.

5. Активный ил, регулярно подвергается воздействию солей металлов, имеет высокую степень адаптации.

Проведенные исследования позволили получить достаточное количество информации о состоянии и свойствах активного ила. Это позволит в

дальнейшем прогнозировать эффективность биологической очистки при различных техногенных нагрузках, а также вовремя принимать соответствующие меры для снижения токсичного воздействия на активный ил, и в последующем восстановить количественный и качественный состав биомассы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимия / Ред. Б.А. Ягодина. – М: Агропромиздат, 1989. – 655 с.
2. Бугаева, Т.В. Влияние структуры поверхности микроорганизмов на процессы биосорбции ионов металлов из растворов [Текст] / Т.В. Бугаева, Е.Е. Зинурова // Вода: химия и экология. – 2010 – №1. – С. 21-26.
3. Карюхина, Т.А. Химия воды и микробиология [Текст] / Т.А. Карюхина, И.Н. Чурбанова – М: Стройиздат, 1995. – 208 с.
4. Батлер, Дж.Н. Ионные равновесия [Текст] / Дж.Н. Батлер [пер. с англ.] – Л.: Химия, 1973. – 448 с.
5. Alderighi, L. Hyperquad simulation and speciation (HySS): a utility program for the investigation of equilibria involving soluble and partially soluble species [Text] / L. Alderighi, P. Gans, A. Ienco, D. Peters, A. Sabatini, A. Vacca. // Coordination Chemistry Reviews. – 1999. – Vol. 184, №.1 – P. 311-318.
6. Хмарская, Л.А. Взаимодействие никель (II), медь (II) и цинк (II) ионов с модельными мембранами [Текст] / Л.А. Хмарская, К.Е. Киливник, А.В. Штеменко // Вопросы химии и химической технологии. – 2007. – № 4. – С. 41-45.

Отримано редакцією 08.2013 р.

УДК 535-1:631.365

ЗАВАЛИЙ А.А., канд. техн. наук, доцент

Южный филиал Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет», г. Симферополь

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ СУШКИ НА ЛОТКЕ ИНФРАКРАСНОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ СУШКИ ПЛОДОВ И ОВОЩЕЙ

Экспериментально определены поля скорости сушки и температуры продукта в ходе сушки на лотке инфракрасной камеры для сушки плодов и овощей с источниками излучения, вынесенными за пределы лотка. Установлено, что инфракрасная камера обеспечивает сушку в соответствии с требованиями стандартов, а наблюдаемая неравномерность сушки вызвана неравномерностью распределения потока теплового излучения по поверхности сушки.

Ключевые слова: инфракрасная сушка, плоды и овощи, скорость сушки.

The fields of drying rate and temperature of the product during drying tray camera for infrared drying of fruits and vegetables with radiation sources located outside the limits of the tray was experimentally defined. Found that the infrared camera provides drying in accordance with the standards, and the observed uneven drying due to uneven distribution of the flow of heat radiation on the surface drying.

Keywords: infrared drying, fruits and vegetables, drying rate.

Анализ работ по созданию и эксплуатации устройств инфракрасной сушки продуктов питания [1-11] показал, что основными недостатками, препятствующими широкому использованию инфракрасной сушки плодов и овощей, являются высокие энергетические затраты и низкая объемная производительность этих устройств, неравномерность влагосодержания в продукте сушки, загрязнение и выход из строя источников излучения. Основной причиной этих недостатков является размещение источников излучения непосредственно над продуктом сушки и, как следствие, неравномерное распределение тепловой мощности излучения по поверхности сушки. Выравнивание потока излучения увеличением количества источников приводит

к перегреву продукта сушки, а снижение температуры источника – к увеличению потерь мощности на конвективный теплообмен.

С целью создания эффективных устройств инфракрасной сушки плодов и овощей нами предложены схемы взаимного размещения источников излучения и поверхностей сушки, в которых источники вынесены за пределы этих поверхностей [12]. Тепловое излучение от источников на поверхность сушки направляют зеркально отражающие поверхности с высокой отражающей способностью, выполненные, например, из серебра или алюминия. Схемы такого взаимного расположения приведены на рис. 1.

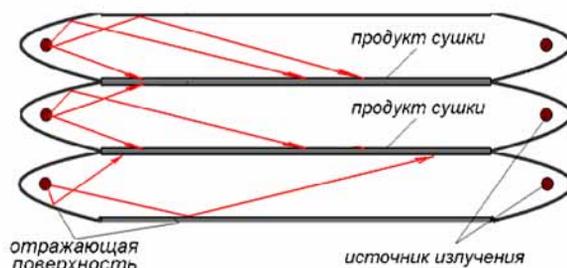


Рис.1. Схемы взаимного расположения источников излучения и продукта сушки

Предложенные схемы позволили создать камерные устройства инфракрасной сушки (рис. 2), в которых рабочий объем представляет собой пространство сушильной камеры, ограниченное поверхностями сет-

чатых лотков с продуктом сушки, профилированными зеркальными отражателями, зеркально отражающими лицевой и тыльной стенками.

Основной задачей проектирования и создания рабочего объема таких камер является обеспечение заданного распределения интенсивности сушки в объеме камеры, а именно, распределение в плоскости яруса и распределение по ярусам сушильной камеры.

Проектирование рабочего объема с заданным распределением потока излучения включает в себя этапы построения профиля отражающей поверхности и анализа теплового состояния полученного рабочего объема. Построение профиля отражающей поверхности выполняется с использованием оптико-геометрических моделей переноса излучения в рабочем объеме, а анализ теплового состояния рабочего объема – с использованием тепловых моделей лучисто-кондуктивного теплообмена и лучисто-конвективно-кондуктивного теплообмена с учетом испарения влаги в рабочем объеме сушильной камеры [13, 14].

Основные шаги проектирования рабочего объема:

1. Для заданной геометрии поверхностей сушки и правила распределения потока теплового излучения с помощью оптико-геометрических моделей получают геометрию рабочего объема – координаты положения источника излучения и точек линии отражающей поверхности.

2. Для полученной геометрии рабочего объема строят тепловую модель, результатом расчета которой являются поля тепловых параметров в объеме и на его границах.

3. Если рабочий объем не обеспечивает заданное распределение потока теплового излучения, то профиль отражающей поверхности (зеркала) корректируют поворотом его участков. В результате коррекции добиваются требуемого распределения. Для скорректированного профиля зеркала строят новую тепловую модель и вычисляют новые поля тепловых параметров в объеме и на его границах.

4. После построения требуемого рабочего объема строят тепловую модель многоярусного устройства. Результаты анализа этой модели позволяют скорректировать тепловую нагрузку на каждом ярусе устройства.

Для создания камеры инфракрасной сушки нами спроектирован рабочий объем, обеспечивающий равномерный процесс сушки на поверхности лотка камеры. Лотки с продуктом сушки имеют размер 740x840 мм и расположены друг над другом на расстоянии 200 мм.

Лотки с продуктом сушки имеют размер 740x840 мм и расположены друг над другом на расстоянии 200 мм.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование распределения скорости

сушки и температуры продукта сушки на лотке камеры инфракрасной сушки.

Задачами исследования неравномерности сушки являются:

1. Установление соотношения характерных времен сушки продуктов питания в различных зонах пространства сушильного устройства.

2. Сопоставление неравномерности сушки с неравномерностью распределения теплового потока излучения по поверхности лотка сушильной камеры с целью определения допустимой неравномерности теплового облучения. Допустимая степень неравномерности теплового облучения поверхности сушки ограничена допустимыми значениями влагосодержания продукта сушки в соответствии с нормативными документами на сушеную продукцию [15-17].



Рис.2. Камеры инфракрасной сушки продуктов питания

Для решения задач экспериментального исследования равномерности сушки нами создана экспериментальная камера инфракрасной сушки (рис. 3).

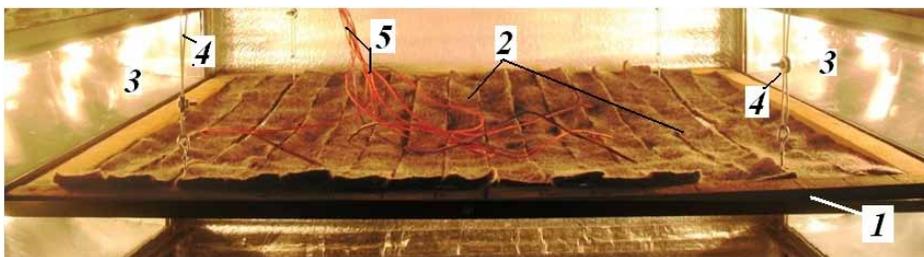


Рис.3. Лоток с моделью коллоидного тела в экспериментальной камере инфракрасной сушки: 1 - лоток; 2 - модель коллоидного тела – влажные полосы войлока; 3 - излучатели; 4 - тросы системы измерения массы; 5 - отводящие провода термопар

В качестве продукта сушки использована модель коллоидного тела – полосы и цилиндры войлока, смоченные в воде. Продукт сушки размещался на лотке камеры, массу которого измеряли в ходе сушки. В ходе эксперимента измеряли также температуру продукта сушки, температуру воздуха на входе и выходе из камеры, влажность воздуха на выходе из камеры, скорость движения воздуха в объеме камеры и на выходе из камеры. Для измерений использовали тензометрическую систему измерения массы и электронные весы, контроллер температур и термодатчики типа К, емкостной преобразователь влажности и термоанемометр.

В эксперименте полосы войлока толщиной 10-12 мм выкладывали одним слоем на лоток, как показано на рисунке 4. Войлочные цилиндры толщиной 10-12 мм и диаметром 20-30 мм размещали в сеточных лотках размером 150x140 мм, которые в свою очередь размещались на лотке камеры. Тепловое «облучение» продукта сушки осуществлялось 6-ю линейными лампами накаливания мощностью 100 Вт каждая. Камера вентилировалась естественной конвекцией через вентиляционные отверстия в нижней и верхней частях камеры.

Выполнены две серии экспериментального исследования равномерности сушки войлочных пластин, в результате которых получены временные диаграммы сушки, определены распределения температуры и скорости сушки на поверхности лотка (рис. 5-8).

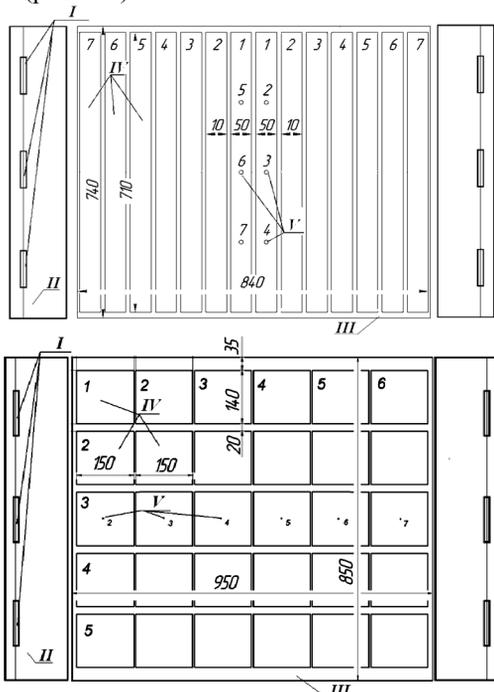


Рис.4. Схемы размещения войлочных пластин и цилиндров на лотке: I - линейная лампа накаливания; II - поверхность отражателя; III - поверхность лотка; IV - полосы войлока или лотки с цилиндрами войлока; V - места установки измерительных преобразователей температуры

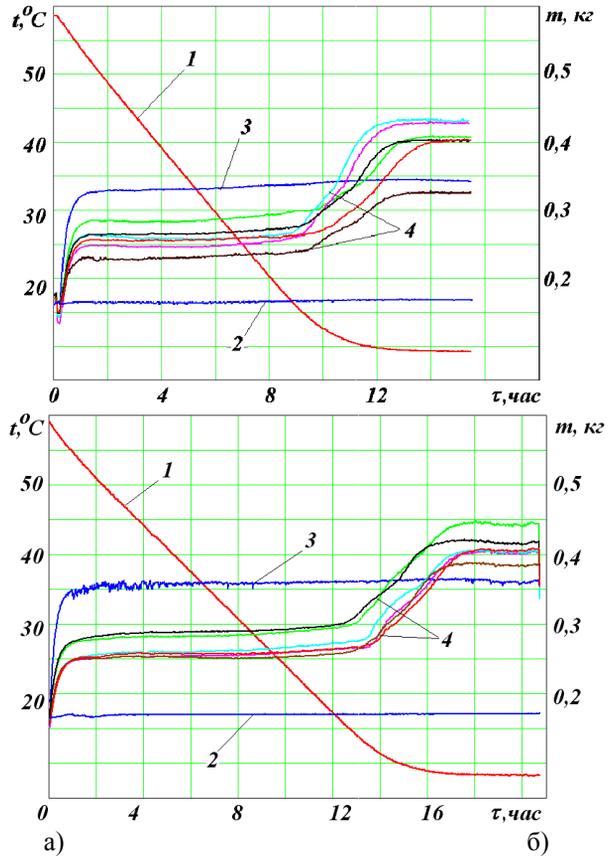


Рис. 5. Временные диаграммы сушки: а) положение полос № 7; б) положение полос №3; описание позиций 1-4 см. на рис. 4

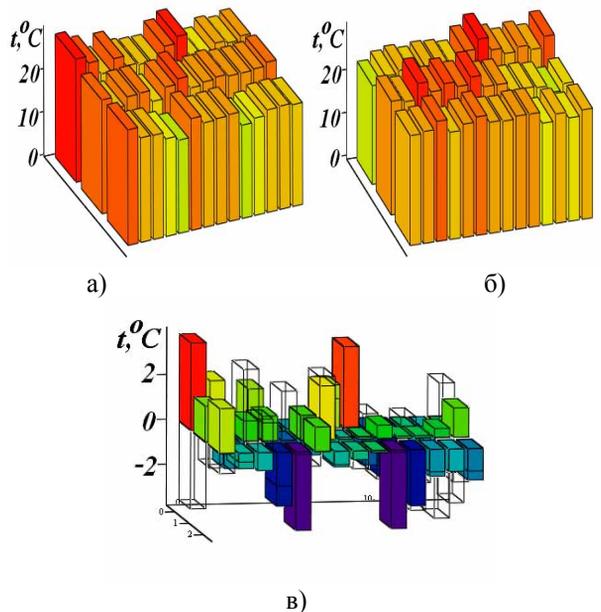


Рис. 6. Поля температуры во влажном войлоке в течение 1-го периода сушки: а) 1-я серия экспериментов; б) 2-я серия экспериментов; в) – отклонение измеренных значений температуры в обеих сериях от общего среднего значения 26,26 °С

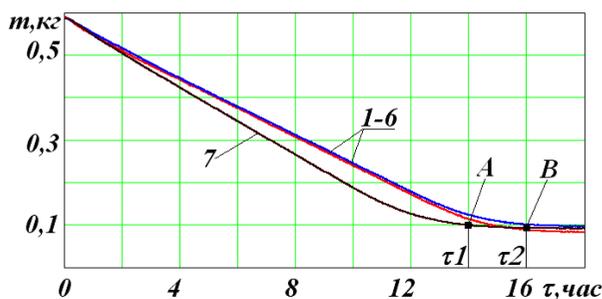


Рис. 7. Убыль массы лотка для различных положений влажных пластин войлока: точки А и В соответствуют моменту достижения влагосодержания 20%; 1-7 – номера полос войлока

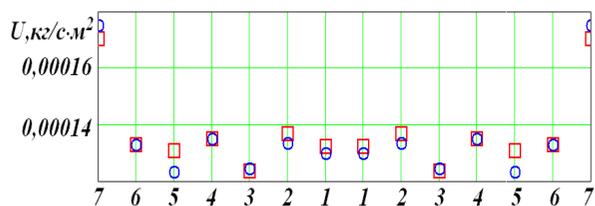


Рис. 8. Распределение скорости по поверхности лотка сушильной камеры

При исследовании равномерности сушки войлочных цилиндров сушку цилиндров воспроизвели от исходного состояния влажности до заданного момента времени. По окончании сушки каждый лоток взвешивали, что позволило построить пространственную картину изменения скорости сушки на лотке (см. рис. 9). Средние значения скорости сушки и значения предельных отклонений приведены в таблице 1.

Таблица 1

Средняя скорость сушки цилиндров войлока на лотках

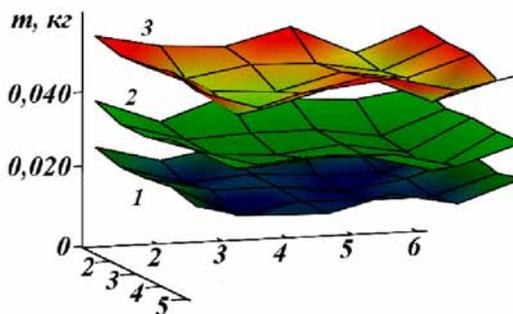
Номер эксперимента	1	2	3	4
Продолжительность сушки, ч	3	4	5,4	9,5
Скорость сушки, кг/(с·м ²)	$1,326 \cdot 10^{-4}$	$1,299 \cdot 10^{-4}$	$1,347 \cdot 10^{-4}$	$1,275 \cdot 10^{-4}$
Предельное отклонение скорости, кг/(с·м ²) (P=0,95)	$\pm 5,2 \cdot 10^{-5}$	$\pm 2,56 \cdot 10^{-5}$	$\pm 2,25 \cdot 10^{-5}$	$\pm 1,32 \cdot 10^{-5}$

Поле скорости сушки сопоставлено с полем распределения потока теплового излучения, полученным в специально выполненном эксперименте (рис. 10). Диаграмма на рис. 10 показывает очевидную связь между скоростью сушки и тепловым потоком излучения на поверхность сушки.

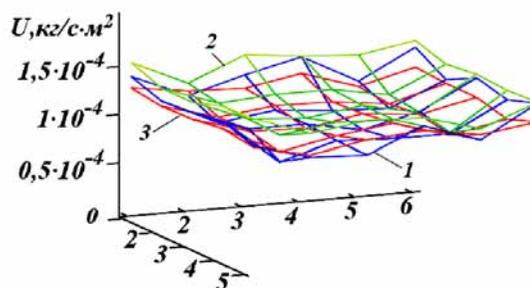
Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Во втором периоде сушки температура войлока стабилизируется и не превышает значение 45 °С для измерений во всех местах положения полос войлока и мест установки измерительных преобразователей (термопар). Более интенсивная вентиляция полос в положении № 7 обеспечивает

меньшие значения температуры полос во 2-м периоде сушки, чем в положении № 3. Если принять во внимание, что при сушке плодоовощной продукции нельзя допускать нагрева продукта сушки свыше 50 °С, то для условий выполненного эксперимента перегрев продукта сушки не наступает. Значение температуры 50 °С выбрано как предельно допустимое, так как термическое разложение в присутствии кислорода воздуха биологических ценных компонент продукта сушки, например, витамина С наступает при температурах, немного превышающих это значение [18, 19].



а)



б)

Рис. 9. Количество испаренной влаги из «пыжей» в лотках (а) и соответствующие им скорости испарения (б): 1 - сушка в течение 4-х ч; 2 - сушка в течение 5,4 ч; 3 - сушка в течение 9,5 ч

2. Моменты окончания сушки, обозначенные на диаграмме убыли массы точками А и В, соответствуют массовой доле влаги в продукте сушки 20-25 %, что для плодов и овощей обеспечивает длительную сохраняемость.

3. Общее среднее значение скорости сушки в камере для всех экспериментов составило $(1,323 \pm 0,405) \cdot 10^{-4}$ кг/(с·м²).

4. Величина разброса значений скорости сушки по поверхности лотка сушильной камеры с увеличением времени сушки снижается, так как при продолжительности сушки, превышающей 8 часов, наступает 2-й период сушки для областей на поверхности лотка с большим значением скорости сушки.

5. Неравномерность скорости сушки является результатом неравномерности теплового потока излучения, падающего на поверхность продукта сушки.

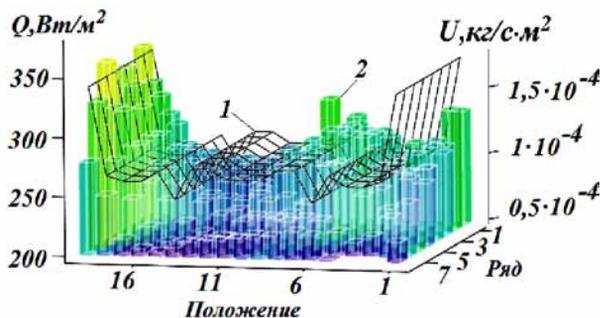


Рис. 10. Распределение теплового потока излучения и скорости сушки по поверхности лотка: 1 - скорость сушки; 2 - тепловой поток излучения

Таким образом, в результате экспериментального исследования равномерности сушки на поверхности лотка инфракрасной сушильной камеры получены следующие результаты:

- рабочий объем, конструкция камеры и выбранные режимы обеспечивают качественную сушку плодов и овощей по всей поверхности лотка для неравномерности распределения теплового потока излучения по поверхности продукта сушки, составляющей 39,75 % для спроектированного профиля отражателя. Максимальная разница по времени достижения 2-го периода сушки в различных зонах лотка не превышает 2-х ч при общей длительности сушки 12-14 ч, а перегрев продукта

сушки не достигается;

- неравномерность скорости сушки является результатом неравномерности распределения теплового потока излучения по поверхности продукта сушки;
- на 14 % площади лотка (1/7 поверхности), прилегающей к краям лотка по длине, сушка осуществляется на 15 % быстрее, чем на остальной площади. Выравнивание распределения теплового потока излучения по поверхности лотка позволит уменьшить разницу времен окончания сушки, тем самым уменьшить общую продолжительность сушки и снизить затраты энергии на ее осуществление. Снизить неравномерность распределения теплового потока излучения по поверхности сушки позволит применение оптимизированных профилей отражателей, а также изменения в конструкции и технологии изготовления излучателя. Дополнительными источниками неравномерности являются значительные (до 25 %) колебания мощности ламп накаливания с одинаковым номинальным значением мощности; ошибки выполнения геометрии излучателя (профиля отражающей поверхности и мест установки излучающих спиралей ламп); неравномерная зеркальность отражающей поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев, П.Д. Сушка инфракрасными лучами. М: Госэнергоиздат, 1955. – 229 с.
2. Гинзбург, А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов [Текст] / А.С. Гинзбург. – М: Пищевая промышленность, 1973. – 528 с.
3. Гришин, М.А. Установки для сушки пищевых продуктов [Текст] / М.А. Гришин, В.И. Атаназевич, Ю.Г. Семенов // Справочник Агропромиздат, 1989. – 215 с.
4. Зворыкин, Д.Б. Отражательные печи инфракрасного нагрева [Текст] / Д.Б. Зворыкин, А.Т. Александрова, Б.П. Байкальцев – М: Машиностроение, 1985. – 176 с.
5. Ильясов, С.Г. Теоретические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов. Диссерт. докт. техн. наук. – М: МТИП, 1977. – 435 с.
6. Лыков, А.В. Теория сушки [Текст] / А.В. Лыков – М: Энергия, 1968. – 472с.
7. Рогов, И.А. СВЧ и инфракрасный нагрев пищевых продуктов [Текст] / И.А. Рогов. – М: Энергия, 1976. – 472 с.
8. Ангерсбах, А.К. Интенсификация терморadiационно-конвективной сушки яблок и айвы [Текст] / А.К. Ангерсбах Диссерт. канд. тех. наук. – М: 1987. – 264 с.
9. ПО "СпецХлебмаш" // <http://www.int.nsk.su/index.php>
10. БИД // <http://bid.dp.ua>
11. Amisy Machinery Co., Ltd // <http://zzaimeishi.en.alibaba.com>
12. Завалий А.А., Янович И.В. Инфракрасная камера для сушки плодов и овощей. // Труды Таврического государственного агротехнологического университета. – Выпуск 10. – Том 6. – Мелитополь: ТДАТУ, 2009 г. – С. 103-110.
13. Завалий А.А. Оптико-геометрические модели проектирования отражающих поверхностей устройств инфракрасной сушки. // Motrol. Motorization and power industry in agriculture. – Volume 13 С. – Lublin 2011. – С. 150-158.
14. Завалий А.А. Компьютерное тепловое моделирование и анализ инфракрасных систем равномерного облучения плоских поверхностей. – Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – №1(88). – С. 5-11.
15. ГОСТ Р 52622-2006 Овощи сушеные. Общие технические условия – [Действующий от 2006-27-12]. - М: Стандартинформ, 2006. – 15 с. – (Национальный стандарт Российской Федерации).
16. ГОСТ 28501-90 Фрукты косточковые сушеные. Технические условия – [Действующий от 1990-30-03]. - М: Стандартинформ, 2005. – 12 с. – (Межгосударственный стандарт).
17. ГОСТ 28502-90 Фрукты семечковые сушеные. Технические условия – [Действующий от 1990-30-03]. - М: Стандартинформ, 2005. – 11 с. – (Межгосударственный стандарт).
18. Метлицкий Л.В. Биохимия плодов и овощей [Текст] / Л.В. Метлицкий – М: Экономика, 1970. – 271 с.
19. Кретович В.Л. Биохимия растений [Текст] / В.Л. Кретович – М: Высшая школа, 1986. – 503 с.

Отримано редакцією 08.2013 р.