

УДК 631.365.2:535.317.2

Исследование инфракрасных нагревателей для вакуумной сушки при давлении близком к тройной точке воды

Д-р техн. наук В. А. ЕРМОЛАЕВ¹, канд. техн. наук Д. Е. ФЕДОРОВ²,
д-р техн. наук А. А. СЛАВЯНСКИЙ³

¹ermolaevv1a@rambler.ru, ²fedorov_de@inbox.ru, ³kaftpp@mail.ru

¹Российский экономический университет им. Плеханова

²Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия

³Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского (ПКУ)

При использовании инфракрасных сушильных ламп одним из недостатков является неравномерность нагрева продукта по поверхности лотков. Неравномерность нагрева поверхности обусловлена геометрическими свойствами источника облучения. Работа посвящена модернизации системы подвода теплоты в инфракрасных сушильных установках. В качестве объекта исследования выступала вакуумная сушильная установка с цилиндрической камерой. Для проведения исследований программными средствами была смоделирована оптическая система подвода теплоты с применением различных отражателей. Проанализировано поведение лучей и их распределение по поверхности лотка с продуктом. Установлена эффективность использования отражателя параболического типа, подобрано фокусное расстояние данного отражателя. Проведены экспериментальные исследования по сушке ягод черной смородины с использованием сконструированного отражателя и без него. В ходе опытов было установлено время прогрева продукта в различных точках лотка. Без отражателя время прогрева ягоды в центре до заданной температуры составило 41 мин в центре и 66 мин на периферии. Установка отражателя обеспечивает более равномерный прогрев по всей поверхности лотка. Разница между временем прогрева в центре и на периферии лотка составила не более 15%, в то время как при отсутствии отражателя это значение составило 60%. Кроме того, сократилась общая продолжительность прогрева за счет повышения плотности теплового потока благодаря установке отражателя. Был также проведен замер массовой доли влаги в сухих ягодах в различных точках лотка. Результаты свидетельствуют о том, что без отражателя наблюдается некоторое различие в массовой доле влаги сухих ягод по ширине лотка. Установка отражателя заметно снижает указанную разницу.

Ключевые слова: инфракрасные лампы, отражатели, оптика, сушка, световые лучи.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 16.04.2021, принята к печати 20.05.2021

DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-3-15-22

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Ермолаев В. А., Федоров Д. Е., Славянский А. А. Исследование инфракрасных нагревателей для вакуумной сушки при давлении близком к тройной точке воды // Вестник Международной академии холода. 2021. № 3. С. 15–22.

DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-3-15-22

Infrared heaters for vacuum drying under the pressure close to the one of the triple point of water

D. Sc. V. A. ERMOLAEV¹, Ph. D. D. E. FEDOROV², D. Sc. A. A. SLAVYANSKY³

¹ermolaevv1a@rambler.ru, ²fedorov_de@inbox.ru, ³kaftpp@mail.ru

¹Plekhanov Russian University of Economics

²Kuzbass State Agricultural Academy

³K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (FCU)

When using infrared drying lamps, one of the disadvantages is the uneven heating of the product over the surface of the trays. The uneven heating of the surface is due to the geometric properties of the radiation source. The work is devoted to the modernization of the heat supply system in infrared drying plants. The object of the study was a vacuum drying unit with a cylindrical chamber. To carry out the research, a software was used to simulate an optical heat supply system using various reflectors. The behavior of the rays and their distribution over the surface of the tray with the product is analyzed. The efficiency of using a parabolic reflector is established, and the focal length of this reflector is selected. Experimental

research on drying black currant berries with the use of a designed reflector and without it has been carried out. During the experiments, the heating time of the product was established at various points in the tray. Without a reflector, the time for heating a berry in the center to a given temperature was 41 minutes in the center and 66 minutes in the periphery. Installing the reflector provides more uniform heating over the entire surface of the tray. The difference between the heating time in the center and at the periphery of the tray was no more than 15%, while in the absence of a reflector this value was 60%. In addition, the total warm-up time was reduced by increasing the heat flux density due to the installation of a reflector. We also measured the mass fraction of moisture in dry berries at various points in the tray. The results indicate that without a reflector, there is some difference in the mass fraction of moisture in dry berries along the width of the tray. Installing a reflector significantly reduces this difference.

Keywords: infrared lamps, reflectors, optics, drying, light rays.

Article info:

Received 16/04/2021, accepted 20/05/2021

DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-3-15-22

Article in Russian

For citation:

Ermolaev V. A., Fedorov D. E., Slavyansky A. A. Infrared heaters for vacuum drying under the pressure close to the one of the triple point of water. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2021. No 3. p. 15–22.

DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-3-15-22

Введение

Сушка является одним из самых перспективных способов консервирования пищевых продуктов [1]–[5]. При этом среди самых распространенных источников тепла в сушильных установках являются инфракрасные лампы [6]–[9]. Преимуществами такой сушки являются относительно высокая скорость сушки и низкое потребление электроэнергии, а также невысокая температура нагрева — как правило 40–60 °C [10]–[15].

При использовании инфракрасных сушильных ламп одним из недостатков является неравномерность нагрева продукта по поверхности лотков [16]. Неравномерность нагрева поверхности обусловлена геометрическими свойствами источника облучения. Как известно, интенсивность излучения (I) от источника малых размеров на элементарную площадку рассчитывается по следующей формуле:

$$I = I_0 \frac{\cos(\varphi)}{\pi} d\omega, \quad (1)$$

где I_0 — интенсивность излучения источника в направлении, ортогональном поверхности; φ — угол между нормалью от источника к поверхности и вектором излучения; $d\omega$ — телесный угол видимости элементарной площадки точечным источником.

Если рассматривать инфракрасную лампу, то видно (рис. 1), что чем ближе она располагается к поверхности нагрева, тем более неравномерное распределение интенсивности излучения будет наблюдаться на данной поверхности — наиболее интенсивное излучение будет наблюдаться в центральной части лотка, наименее интенсивное — на периферии (по бокам).

Для обеспечения более равномерного нагрева используют лампы с более широкой поверхностью излучения. При этом уменьшается угол φ и появляется возможность несколько снизить температуру источника. Однако с увеличением физических размеров источника излучения увеличивается доля конвективно-кондуктивного теплового потока от инфракрасной лампы, что уве-

личивает тепловые потери, и следовательно — энергоэффективность.

Частично решить эту проблему можно за счет замены одной большой лампы на несколько более мелких, а также применением отражателей различной конфигурации.

Целью настоящей работы являлась модернизация излучательной системы в инфракрасной сушильной установке для обеспечения более равномерного нагрева продукта.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования выступала камера вакуумной сушильной установки, представленная на рис. 2 [17, 18].

Камера сушки представляет собой горизонтальный цилиндр с внутренним диаметром 290 мм и длиной 530 мм. Камера обнесена теплоизоляцией для снижения теплопотерь в окружающую среду. Одно днище камеры выпуклое приварное, изготовленное из стали, как и цилиндрическая часть камеры. Второе съемное из органического стекла толщиной 40 мм.

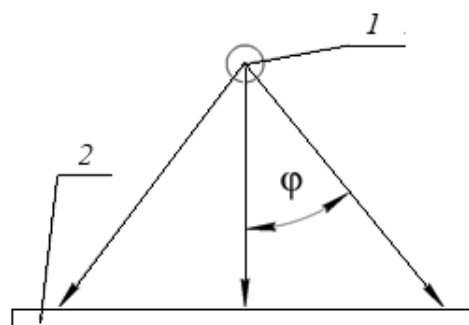


Рис. 1. Схема распределения лучей: 1 — источник излучения (инфракрасная лампа); 2 — лоток с продуктом

Fig. 1. Allocation of the beams: 1 — radiation source (infrared lamp); 2 — product tray

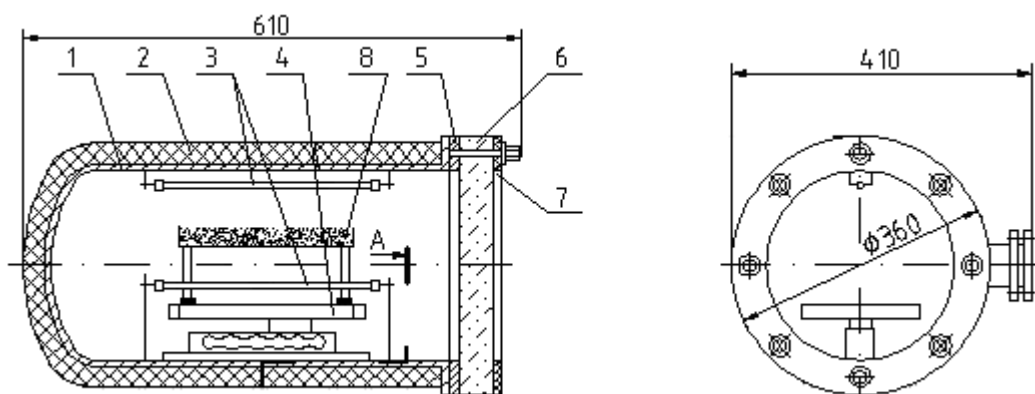


Рис. 2. Сушильная камера: 1 — корпус; 2 — теплоизоляция; 3 — нагреватели; 4 — весы; 5 — вакуумная резина; 6 — оргстекло; 7 — поджимающее кольцо; 8 — продукт

Fig. 2. Drying chamber: 1 — body; 2 — thermal insulation; 3 — heaters; 4 — weighing unit; 5 — vacuum rubber; 6 — organic glass; 7 — packing ring; 8 — product

В качестве источников теплоты в установке использовались две инфракрасные лампы марки КГТ 220–1000 мощностью 1 кВт каждая. Инфракрасные нагреватели 3 установлены в камере в верхней и нижней части на расстоянии 50 мм от поддона, на котором расположен продукт 8. В конструкции вакуумной камеры предусмотрена возможность изменения расстояния между нагревателями и поддоном, на котором располагается продукт в процессе сушки.

Измерительный комплекс состоит из термопар, аналогово-цифрового преобразователя и компьютера, где происходит фиксация показаний термопар в режиме реального времени.

Для анализа оптической системы использовалось программное обеспечение TracePro. Данная программа позволяет создавать различные оптические системы и моделировать в ней распределение лучей. Для проведения анализа была смоделирована камера с лотком и инфракрасными лампами. Исследование системы подвода теплоты проводили при количестве лучей 50 000.

Обеспечить более равномерный нагрев поверхности лотка можно было бы размещением обеих ламп только над верхней поверхностью лотка как показано на рис. 3, б.

Однако при этом верхний слой продукта нагревался бы сильнее, чем нижний.

Другим возможным решением поставленной проблемы было бы увеличение расстояния между лампой и лотком с продуктом. С одной стороны это обеспечивало бы более равномерное распределение плотности излучения по поверхности лотка, однако во-первых, размеры камеры ограничивают расстояние между лотком и лампой, а во-вторых, при этом уменьшался бы суммарный тепловой поток от лампы.

Одним из эффективных вариантов обеспечения более равномерного нагрева лотка является установка отражателей. Были смоделированы отражатели различной формы (рис. 4). При этом расстояние между лотком и продуктом установили на максимально возможном в данной камере расстоянии — 70 мм. Диаметр круглого отражателя был равен ширине лотка. Фокусное расстояние параболического отражателя составляло 30 мм — столько же, сколько расстояние от отражателя до оси инфракрасной лампы.

На основе программного анализа была построена карта распределения интенсивности излучения по по-

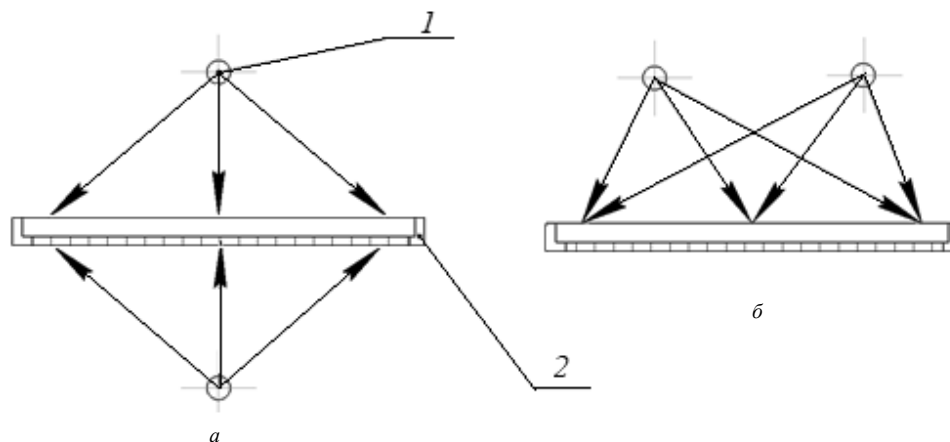


Рис. 3. Схемы размещения излучателей: 1 — инфракрасные лампы; 2 — сетчатый поддон с продуктом

Fig. 3. Allocation of the radiators: 1 — infrared lamps; 2 — wire-mesh tray with product

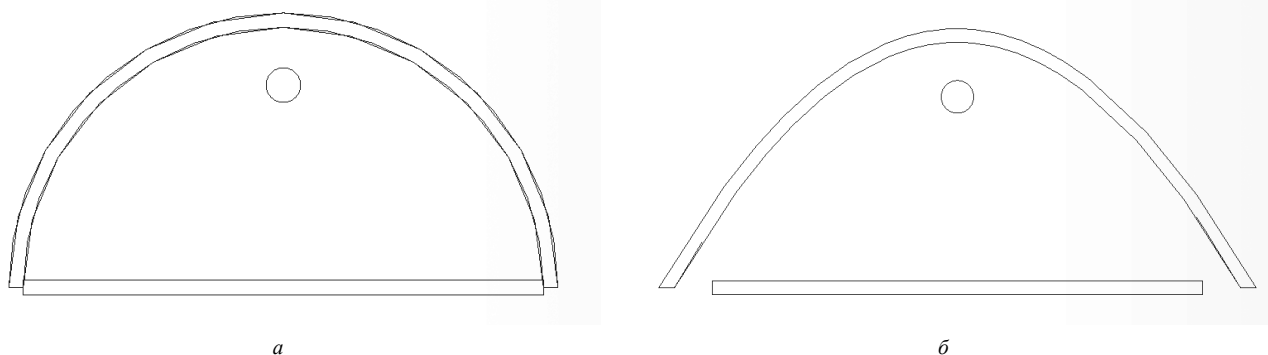


Рис. 4. Конструкции отражателей: а — круглая; б — параболическая
 Fig. 4. Design of the reflectors: a — circular; б — parabolic

верхности лотка, а также графики изменения интенсивности излучения по горизонтальному и вертикальному сечению (рис. 5).

При отсутствии отражателя наблюдается большая неравномерность плотности излучения по ширине лотка: его величина на краю лотка была на 70% ниже, чем по центру (рис. 5, а).

Установка круглого отражателя хоть и повышает общую величину светового потока от лампы за счет отражения (примерно в 3 раза, по сравнению с вариантом без отражателя), но при этом большая часть светового потока концентрируется на расстоянии 60–80 мм от продольной оси лотка. На указанном участке плотность светового потока в 2,25 раз больше, чем на продольной оси лотка (рис. 5, б).

Установка параболического отражателя показывает гораздо более лучшие результаты (рис. 5, в). Световой поток падает на лоток более равномерно по сравнению с вариантом без отражателя. Однако на расстоянии дальше 60 мм от продольной оси лотка плотность излучения заметно снижается и на расстоянии 80 мм достигает лишь 50% от светового потока в центральной части.

Для устранения указанного недостатка был проведен подбор фокусного расстояния параболического отражателя. Было обнаружено, что изменение фокусного расстояния до 40 мм позволяет заметно улучшить картину распределения плотности излучения (рис. 6).

Таким образом, установка параболического отражателя с фокусным расстоянием 40 мм на расстоянии 30 мм от оси лампы должна обеспечить более равномерный нагрев и большую плотность теплового потока, падающего на лоток с продуктом.

Для проверки такого предположения были проведены эксперименты по сушке ягод черной смородины в обоих вариантах — с установкой отражателя и без него. Температура нагрева составляла 50 °С — ее контроль осуществлялся по температуре внутри ягоды в центре лотка. Сушка осуществлялась в один слой ягоды. В ягоды были смонтированы термодатчики на различном расстоянии от продольной оси лотка (рис. 7). Шаг установки термодатчиков составлял 2 см. Таким образом, всего было установлено 5 термодатчиков в толще ягоды. Все термодатчики были пронумерованы, начиная от № 1 — термодатчика в центре лотка.

В ходе сушки фиксировали время прогрева толщи ягоды до заданной температуры (50 °С). Соответствующие графики приведены в виде гистограммы на рис. 8.

Без отражателя время прогрева ягоды в центре до заданной температуры составило 41 мин в центре и 66 мин на периферии. Установлена нелинейная зависимость времени прогрева продукта от расстояния между осью лотка и точкой замера.

Как и следовало ожидать, установка отражателя обеспечивает более равномерный прогрев по всей поверхности лотка. Разница между временем прогрева в центре и на периферии лотка составила не более 15%, в то время как при отсутствии отражателя это значение составило 60%. Кроме того, сократилось общая продолжительность прогрева за счет повышения плотности теплового потока благодаря установке отражателя.

Был также проведен замер массовой доли влаги в сухих ягодах в различных точках лотка. Массовую долю влаги определяли экспресс-методом высушивания на приборе Чижовой. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Массовая доля влаги в сухих ягодах

Table 1

Mass fraction of moisture in dry berries

Расстояние от центра лотка, мм	Без отражателя	С отражателем
0	4,1	4,2
20	4,2	4,2
40	4,4	4,3
60	5,1	4,3
80	5,7	4,5

Результаты свидетельствуют о том, что без отражателя наблюдается некоторое различие в массовой доле влаги сухих ягод по ширине лотка. Установка отражателя заметно снижает указанную разницу — различие в массовой доле влаги ягод между центром лотка и на расстоянии 80 мм от его продольной оси составляет 7%.

Заключение

Таким образом, был проведен анализ различных излучательных систем сушильной установки, подобраны

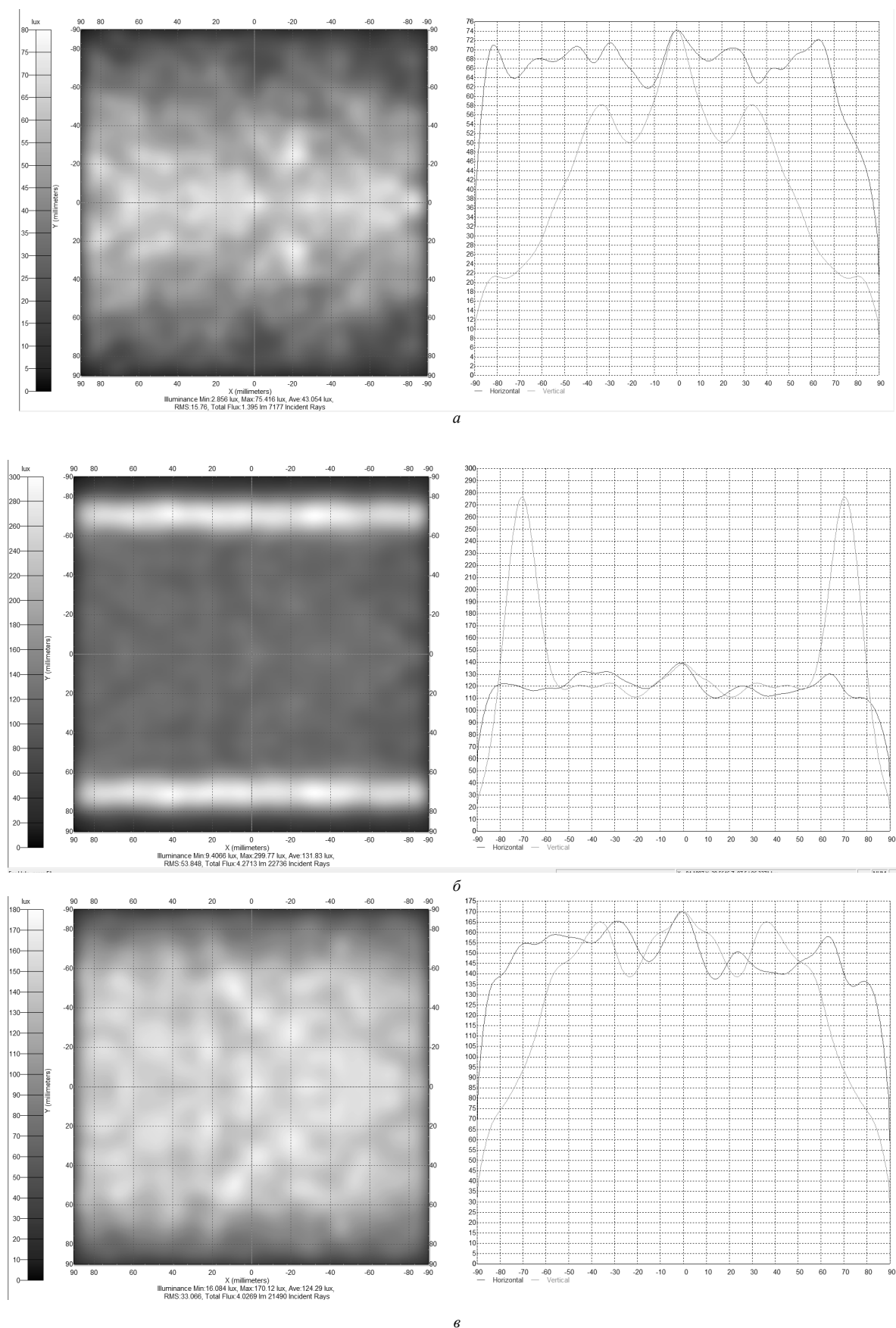


Рис. 5. Карта интенсивности излучения и графики распределения плотности излучения (по горизонтали — синяя линия (1), по вертикали — зеленая линия (2): а — при отсутствии отражателя; б — при установке круглого отражателя; в — при установке параболического отражателя (фокусное расстояние 30 мм)

Fig. 5. Radiation intensity map and the distributions of radiation density (blue line in horizontal direction (1), green line in vertical direction (2): а — without a reflector; б — when a circular reflector is installed; в — when a parabolic reflector with focal length of 30 mm is installed)

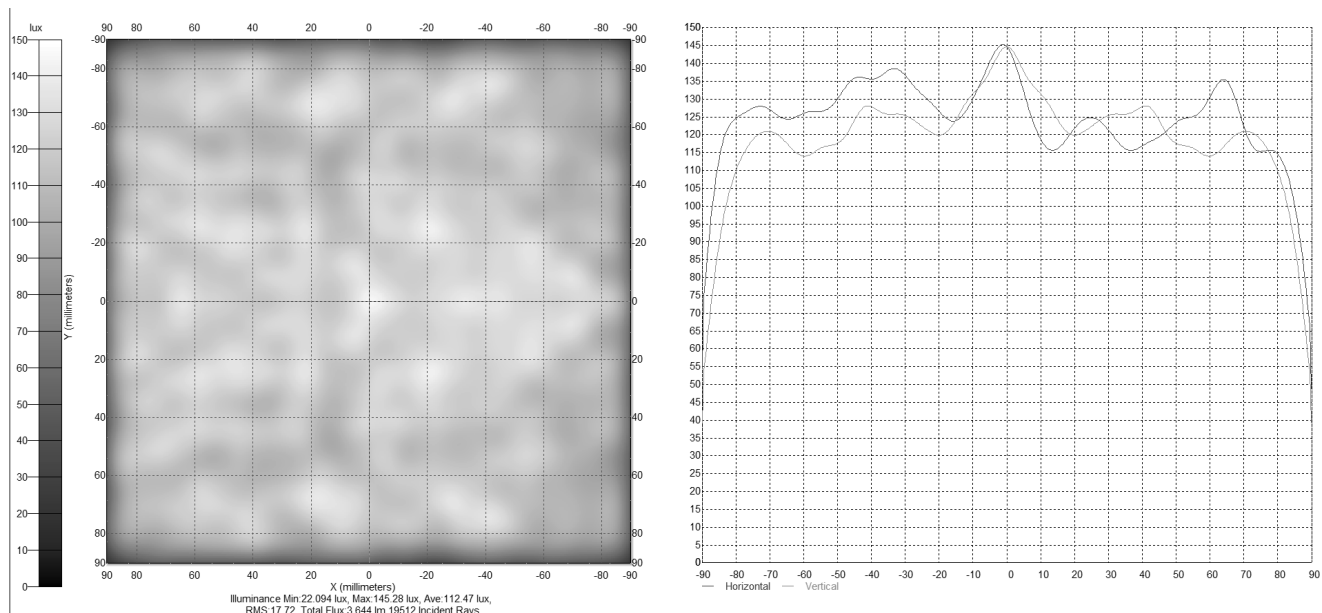


Рис. 6. Карта интенсивности излучения и графики распределения плотности излучения при установке параболического отражателя с фокусным расстоянием 40 мм

Fig. 6. Radiation intensity map and the distribution of radiation density when a parabolic reflector with focal length of 40 mm is installed

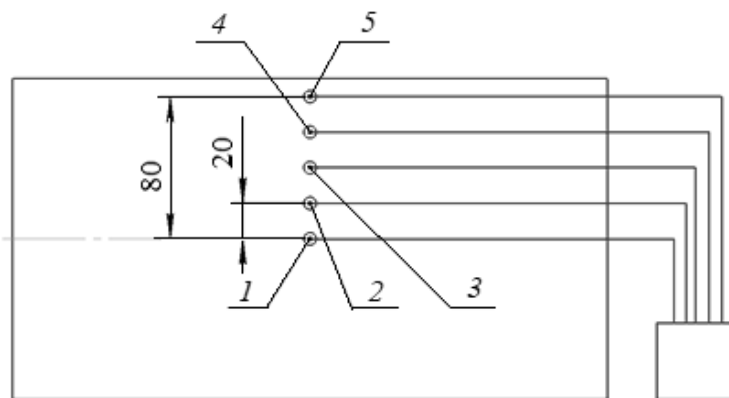


Рис. 7. Схема установки термопар на лоток
Fig. 7. Allocation of the thermocouples on the tray

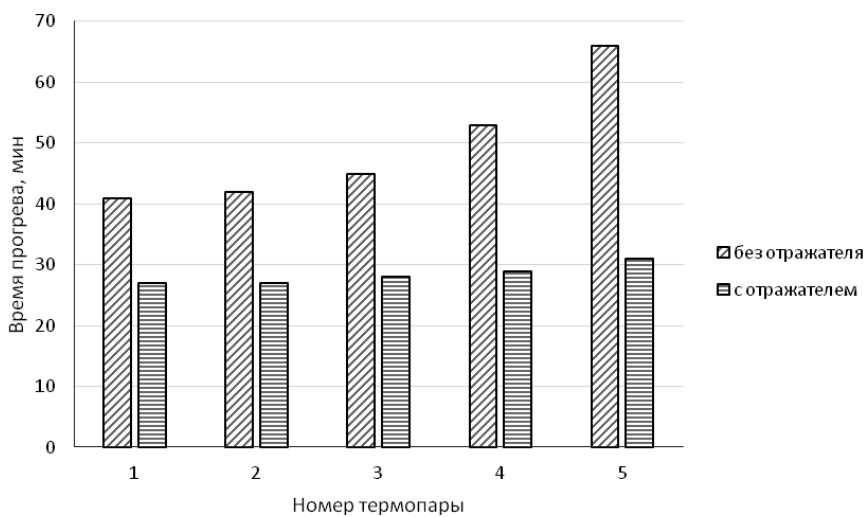


Рис. 8. Время прогрева ягод
Fig. 8. Time of berries' warm-up

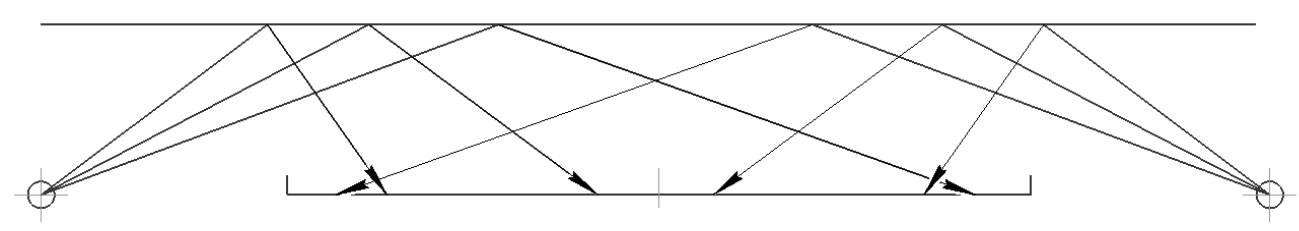


Рис. 9. Излучательная система

Fig. 9. Radiating system

параметры параболического отражателя, обеспечивающие более равномерный нагрев продукта по площади лотка. Проведены экспериментальные исследования на примере ягоды черной смородины, доказывающие эффективность использования параболического отражателя.

Возможным направлением дальнейших исследований является анализ других излучательных систем. Например, использование излучательной системы, где обо-

грев лотков с продуктом осуществляется только отраженными лучами (рис. 9). Это может быть полезно в промышленных установках с большой загрузочной способностью, где важным параметром является максимальная компактность при наибольшей загрузке камеры.

Результаты исследований могут быть полезны работникам пищевой промышленности, научным сотрудникам, инженерам-проектировщикам сушильных установок.

Литература

1. Сафаров Ж. Э. Методы сушки продуктов растительного происхождения / Ж. Э. Сафаров, Ш. А. Султанова, Г. Т. Дадаев, С. Сайидикромов // Сборник статей I Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: Пищевая индустрия и общественное питание: современное состояние и перспективы развития. 2017. С. 209–210.
2. Тимаков Д. В. Условия совершенствования технологии сушки продуктов растениеводства. // Научная мысль. 2017. № 3. С. 60–62.
3. Масалимов И. Х. Математическая модель сушки зерна ячменя инфракрасным нагревом в вакууме / И. Х. Масалимов, Х. Т. Каримов, В. А. Павленко // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 3 (32). С. 95–101.
4. Поперечный А. Н., Миронова Н. А. Кинетика температурных полей плодовых косточек при инфракрасной сушке в виброкипящем слое. // Вестник Донецкого национального технического университета. 2017. № 1 (7). С. 43–48.
5. Патент № 2462867 Способ вакуумной сушки ягод / В. А. Ермолаев, Д. Е. Федоров, Г. А. Масленникова; Заявитель Кемеровский технологический институт пищевой промышленности: № 2011122882 Заявл. 06.06.2011; опублик. 10.10.2012, Бюл. № 28.
6. Беляева М. А., Малази С. А. Оптимизация и аппаратное оформление инфракрасной сушки национального кисломолочного продукта (курта). // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 10. С. 41–45.
7. Завалий А. А. Экспериментальное исследование равномерности сушки на лотке инфракрасной камеры для сушки плодов и овощей. // Пищевая наука и технология. 2013. Т. 24. № 3. С. 77–81.
8. Завалий А. А. Устройство инфракрасной сушки сельскохозяйственного сырья при пониженном давлении / А. А. Завалий, Л. А. Лаго, А. С. Рыбалко // Аграрный вестник Урала. 2017. № 6 (160). С. 8.
9. Лобачевский Я. П., Павлов С. А. Инфракрасная сушка семян в псевдооживленном слое. // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 5. С. 39–43.

References

1. Safarov Zh. E. Methods for drying products of plant origin / Zh. E. Safarov, Sh. A. Sultanova, G. T. Dadaev, S. Sayidiikromov. Collection of articles of the I All-Russian Scientific and Practical Conference with International participation: *Food industry and public catering: current state and development prospects*. 2017. P. 209–210. (in Russian)
2. Timakov D. V. Conditions for improving the technology of drying crop products. *Scientific Thought*. 2017. No. 3. P. 60–62. (in Russian)
3. Masalimov I. Kh. Mathematical model of barley grain drying by infrared heating in vacuum / I. Kh. Masalimov, H. T. Karimov, V. A. Pavlenko. *Innovations in agriculture*. 2019. No. 3 (32). P. 95–101. (in Russian)
4. A. N. Poperechny, Mironova N. A. Kinetics of temperature fields of fruit stones during infrared drying in a vibro-boiling layer. *Bulletin of the Donetsk National Technical University*. 2017. No. 1 (7). P. 43–48. (in Russian)
5. Patent No. 2462867 Method of vacuum drying of berries / V. A. Ermolaev, D. E. Fedorov, G. A. Maslennikov; Applicant Kemerovo Technological Institute of Food Industry: No. 2011122882 Appl. 06/06/2011; publ. 10.10.2012, Bul. No. 28. (in Russian)
6. Belyaeva M. A., Malaysi S. A. Optimization and instrumentation of infrared drying of the national fermented milk product (kurta). *Storage and processing of agricultural raw materials*. 2017. No. 10. P. 41–45. (in Russian)
7. Zavaliy A. A. Experimental study of the uniformity of drying on a tray of an infrared camera for drying fruits and vegetables. *Food Science and Technology*. 2013. vol. 24. No. 3. P. 77–81. (in Russian)
8. Zavaliy A. A. Device for infrared drying of agricultural raw materials under reduced pressure / A. A. Zavaliy, L. A. Lago, A. S. Rybalko. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2017. No. 6 (160). P. 8. (in Russian)
9. Lobachevsky Ya. P., Pavlov S. A. Infrared drying of seeds in a fluidized bed. *Agricultural machines and technologies*. 2018. vol. 12. No. 5. P. 39–43. (in Russian)

10. Бышов Д. Н. Исследование изменения температуры перги в процессе вакуумной инфракрасной сушки / Д. Н. Бышов, Д. Е. Каширин, С. С. Морозов, В. П. Воронов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2018. № 2 (38). С. 69–72.
11. Бышов Д. Н. Математическое моделирование процесса вакуумной инфракрасной сушки перговых сотов / Д. Н. Бышов, Д. Е. Каширин, И. А. Успенский, И. А. Юхин, С. С. Морозов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2019. № 4 (44). С. 82–87.
12. Завалий А. А. Кинетика влагоудаления и разрушения витамина С при инфракрасной сушке ягод и фруктов в многоярусном шкафом устройстве / А. А. Завалий, Л. А. Лаго, А. С. Рыбалко // Агроинженерия. 2020. № 5 (99). С. 56–63.
13. Зыков А. В. Исследование процесса сушки растительного сырья / А. В. Зыков, В. А. Юнин, А. М. Захаров, А. Н. Перекопский // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 11–1 (101). С. 134–139.
14. Бышов Д. Н. К вопросу вакуумной инфракрасной сушки перги / Д. Н. Бышов, Каширин Д. Е., Гобелев С. Н., Морозов С. С., Протасов А. В. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2016. № 1 (29). С. 56–59.
15. Ермолаев В. А., Расщепкин А. Н. Определение температур вакуумной сушки твердых сыров. // Сыроделие и маслоделие. 2009. № 4. С. 44–45.
16. Завалий А. А., Янович И. В. Влияние формы отражающих поверхностей на равномерность облучения продукта сушки винфракрасной сушильной камере. // Харчова наука і технологія. 2010. № 4 (13). С. 91–95.
17. Ермолаев В. А. Теоретическое обоснование и практическая реализация технологии сухого сырного продукта: дисс. ... док. техн. наук: 05.18.04. Кемерово, 2013. 466 с.
18. Ермолаев В. А., Захаров С. А. Теоретическое обоснование основ консервирования сушкой и практическая реализация технологии вакуумной сушки творога: монография. Кемерово, 2009. 176 с.
10. Byshov D. N. Investigation of changes in the temperature of bee bread in the process of vacuum infrared drying / D. N. Byshov, D. E. Kashirin, S. S. Morozov, V. P. Voronov. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University. P. A. Kostychev*. 2018. No. 2 (38). P. 69–72. (in Russian)
11. Byshov D. N. Mathematical modeling of the process of vacuum infrared drying of honeycomb / D. N. Byshov, D. E. Kashirin, I. A. Uspensky, I. A. Yukhin, S. S. Morozov. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University. P. A. Kostychev*. 2019. No. 4 (44). P. 82–87. (in Russian)
12. Zavaliy A. A. Kinetics of dehumidification and destruction of vitamin C during infrared drying of berries and fruits in a multi-tiered cabinet unit. *Zavaliy, L. A. Lago, A. S. Rybalko. Agroengineering*. 2020. No. 5 (99). P. 56–63. (in Russian)
13. Zykov A. V. Research of the drying process of vegetable raw materials / A. V. Zykov, V. A. Yunin, A. M. Zakharov, A. N. Perekopsky. *International scientific research journal*. 2020. No. 11–1 (101). P. 134–139. (in Russian)
14. Byshov D. N. On the issue of vacuum infrared drying of bee bread / D. N. Byshov, Kashirin D. E., Gobelev S. N., Morozov S. S., Protasov A. V. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University. P. A. Kostychev*. 2016. No. 1 (29). P. 56–59. (in Russian)
15. Ermolaev V. A., Raschepkin A. N. Determination of temperatures of vacuum drying of hard cheeses / V. A. Ermolaev. *Cheese making and butter making*. 2009. No. 4. P. 44–45. (in Russian)
16. Zavaliy A. A., Yanovich I. V. Influence of the shape of reflecting surfaces on the uniformity of irradiation of the drying product in the infrared drying chamber. *Kharchova science and technology*. 2010. No. 4 (13). P. 91–95. (in Russian)
17. Ermolaev V. A. Theoretical substantiation and practical implementation of the technology of dry cheese product: diss... D. Sc.: 05.18.04. Kemerovo, 2013. 466 p. (in Russian)
18. Ermolaev V. A., Zakharov S. A. Theoretical substantiation of the foundations of canning by drying and practical implementation of the technology of vacuum drying of cottage cheese: Monograph. Kemerovo, 2009. 176 p. (in Russian)

Сведения об авторах

Ермолаев Владимир Александрович

Д. т. н., профессор кафедры товароведения и товарной экспертизы Российского экономического университета им. Плеханова, 117997, Москва, Стремянный переулок, д. 36, ermolaevvla@rambler.ru

Федоров Дмитрий Евгеньевич

К. т. н., доцент кафедры агроинженерии Кузбасской государственной сельскохозяйственной академии, 650056, г. Кемерово, ул. Марковцева, 5, fedorov_de@inbox.ru

Славянский Анатолий Анатольевич

Д. т. н., профессор, заведующий кафедрой технологии продуктов из растительного сырья и парфюмерно-косметических изделий Московского государственного университета технологий и управления имени К. Г. Разумовского (ПКУ), Москва, ул. Земляной Вал, 73, kaftpp@mail.ru

Information about authors

Ermolaev Vladimir A.

D. Sc., Professor of the Department of Commodity Science and Commodity Expertise of Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane 36, Moscow, 117997, Russia, ermolaevvla@rambler.ru

Fedorov Dmitry E.

Ph. D., Associate Professor of the Department of Agricultural Engineering of Kuzbass State Agricultural Academy, 5 Markovtseva Street, Kemerovo, Kemerovo region — Kuzbass, Russia, fedorov_de@inbox.ru

Slavyansky Anatoly A.

D. Sc., Professor, Head of the Department of Technology of products from vegetable raw materials and perfumes and cosmetics of K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (FCU), kaftpp@mail.ru