

2. Экспериментальным путем обоснованы оптимально-рациональные значения диаметра компрессионной камеры и ее длины.

Полученные зависимости и значения параметров позволяют использовать их при проектировании технологии и технических средств для производства качественных гранул и брикетов. Разработанный пресс в составе предложенной линии имеет высокую эффективность работы, подтвержденную проведенной производственной проверкой.

#### Литература

1. *Завражных А.И., Николаев Д.И.* Механизация приготовления и хранения кормов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 336 с.
2. *Алешкин В.Р., Роцин П.М.* Механизация животноводства. – М.: Агропромиздат, 1985. – 336 с.

3. *Мельников С.В.* Механизация и автоматизация животноводческих ферм. – Л.: Колос, 1978. – 560 с.
4. *Чеботарев О.Н., Шаззо А.Ю., Мартыненко Я.Ф.* Технология муки, крупы и комбикормов. – М.: МарТ, 2004. – 688 с. (Сер. Технологии пищевых производств).

#### Literatura

1. *Zavrazhnov A.I., Nikolaev D.I.* Mehanizacija prigotovlenija i hra-nenija kormov. – M.: Agropromizdat, 1990. – 336 s.
2. *Aleshkin V.R., Roshhin P.M.* Mehanizacija zhivotnovodstva. – M.: Ag-ropromizdat, 1985. – 336 s.
3. *Mel'nikov S.V.* Mehanizacija i avtomatizacija zhivotnovodcheskih ferm. – L.: Kolos, 1978. – 560 s.
4. *Chebotarev O.N., Shazzo A.Ju., Martynenko Ja.F.* Tehnologija muki, krupy i kombikormov. – M.: MarT, 2004. – 688 s. (Ser. Tehnologii pishhevih proizvodstv).

УДК 638.163.4

В.А. Ермолаев

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВАКУУМНОЙ СУШКИ МЕДА

V.A. Ermolaev

#### THE STUDY OF THE PROCESSES OF HONEY VACUUM DRYING

**Ермолаев В.А.** – д-р техн. наук, доц. каф. теплохладотехники Кемеровского государственного университета, г. Кемерово. E-mail: ermolaevvla@rambler.ru

**Ermolaev V.A.** – Dr. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Heating Systems, Kemerovo State University, Kemerovo. E-mail: ermolaevvla@rambler.ru

Статья посвящена подбору эффективных режимов вакуумной сушки мёда. Исследовано влияние толщины слоя сушки и плотности теплового потока на эффективность вакуумного обезвоживания мёда. Проведены опыты по вакуумной сушке мёда при плотности теплового потока от 2 до 10 кВт/м<sup>2</sup>. Получены зависимости относительной массы продукта от продолжительности вакуумной сушки. С увеличением плотности теплового потока происходит сокращение продолжительности сушки: при плотности теплового потока 2, 4 и 6 кВт/м<sup>2</sup> продолжительность сушки составляла 270±10, 240±10 и 225±10 мин, а при плотности теплового потока 8 и 10 кВт/м<sup>2</sup> – соответственно 210±10 и 195±10 мин. При этом также меняется влагосодержание обезвоженного продукта: при увеличении плотности теплового потока от 2 до 10 кВт/м<sup>2</sup> оно меняется от 4,5 до 5 %. Проведены экспериментальные исследования по вакуумной сушке мёда при толщине слоя продукта от 5 до 20 мм. Установлено, что увеличение толщины слоя влечет за собой повышение продолжительности сушки, увеличение влагосодержания обезвоженного продукта и снижение его качества. Однако при этом увеличивается производительность сушильной установки. На основании проведенных исследований были определены эффективные режимы вакуумной сушки мёда – плотность теплового потока 4 кВт/м<sup>2</sup>, толщина слоя продукта – 15 мм. Мёд целесообразно обезвоживать при остаточном давлении 4±0,5 кПа и температуре в камере 40 °С. При указанных режимах

продолжительность сушки составляет 275±10 мин, а органолептическая оценка сухого продукта равна 34 баллам из 40.

**Ключевые слова:** мёд, вакуумная сушка, влагосодержание.

The study was devoted to the selection of effective modes of vacuum drying of honey. The effect of drying layer thickness and heat flux density on the efficiency of vacuum dehydration of honey was studied. The experiments on vacuum drying of honey with heat flux density from 2 to 10 kW/m<sup>2</sup> were carried out. The dependences of relative mass of the product on the duration of vacuum drying were obtained. With increasing heat flux density, drying time was shortened: at heat flux density of 2, 4 and 6 kW/m<sup>2</sup>, drying time was 270 ± 10, 240 ± 10 and 225 ± 10 minutes, and with heat flux density of 8 and 10 kW/respectively 210 ± 10 and 195 ± 10 minutes. It also changed the moisture content of dehydrated product: with an increase in the heat flux density from 2 to 10 kW/m<sup>2</sup>, it varied from 4.5 to 5 %. Experimental studies on vacuum drying of honey with the thickness of the product layer from 5 to 25 mm were carried out. It was found out that increasing the thickness of the layer entailed the increase in the duration of drying, an increase in the moisture content of dehydrated product and the decrease in its quality. However, under these circumstances the productivity of drying device increased. On the basis of conducted studies, effective modes of vacuum drying of honey were determined – heat flux density of 4 kW/m<sup>2</sup>, the thickness of the product layer – 15 mm. It was

*expedient to dehydrate honey at residual pressure of  $4 \pm 0.5$  kPa and under the temperature in the chamber of  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Under these conditions, drying time is  $275 \pm 10$  minutes, and organoleptic estimate of dry product equaled 34 points out of 40.*

**Keywords:** honey, vacuum drying, moisture content.

**Введение.** Пчелиный мёд представляет собой биологически активный продукт, достоинством которого является не только высокая энергетическая ценность (в среднем около 300–340 ккал на 100 г), но и наличие большого количества ценных минеральных веществ, ферментов, витаминов, органических кислот, ароматических и антимикробных веществ, обуславливающих его целебные свойства [1, 2].

Одним из достоинств данного продукта является то, что он на 100 % усваивается организмом в отличие от большинства других сладких продуктов. Зрелый мёд содержит не более 21 % воды, около 35 % глюкозы, 40 % фруктозы, 1,3 % сахарозы, 0,45 % белка, 0,1 % органических кислот и 0,2 % минеральных веществ [3].

Мёд всегда содержит в себе цветочную пыльцу, попадающую в нектар при движении пчелы и дополнительно обогащающую его витаминами, минеральными веществами и белками. В мёде содержатся все витамины группы В, а также витамины А, Н, никотиновая кислота и биотин. В данном продукте обнаружено около 40 микро- и макроэлементов, в число которых входят калий, кальций, кобальт, железо, фосфор, медь, магний, марганец, алюминий, йод, цинк и др. При этом концентрация и соотношение некоторых микроэлементов в мёде соответствуют

таким в крови человека, что обуславливает его быстрое усвоение [4–6].

По технологическим причинам либо для избегания биохимических изменений, возникающих в мёде ввиду наличия определенного количества влаги, появляется необходимость в обезвоживании данного продукта.

Традиционным методом обезвоживания мёда является конвективный способ, предусматривающий непосредственный контакт продукта с нагретым воздухом. При этом не рекомендуется превышать температуру более  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  для сохранения биологически полезных компонентов.

Альтернативным способом сушки является вакуумное обезвоживание. В результате понижения давления происходит снижение температуры кипения и повышается скорость удаления влаги [7].

**Цель работы.** Исследование процессов вакуумной сушки мёда при различных режимах.

**Задачи:** анализ кинетики вакуумной сушки мёда; исследование влияния технологических параметров на эффективность вакуумной сушки мёда; выбор эффективных режимов вакуумного обезвоживания мёда.

**Методы и объекты исследований.** В качестве объекта исследований выступал мёд натуральный гречишный производства Башкирской медовой компании. Органолептическая характеристика объекта исследования приведена в таблице 1.

Для выполнения экспериментальных исследований использовалась вакуумная сушильная установка, схема которой приведена на рисунке 1.

Таблица 1

Органолептическая характеристика мёда

Показатель	Значение
Вкус	Сладкий, приятный, отсутствие посторонних привкусов
Цвет	Светло-янтарный
Запах	Характерный, без постороннего запаха
Консистенция	Сиропообразная

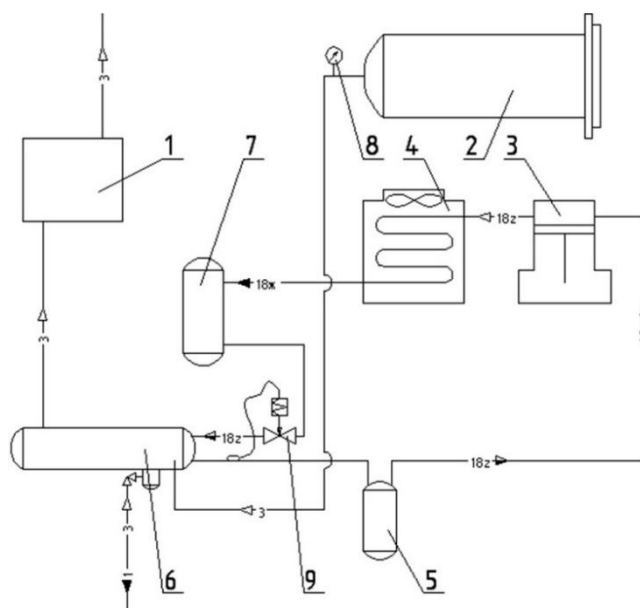


Рис. 1. Схема экспериментальной вакуумной сушильной установки:

1 – вакуумный насос; 2 – сушильная камера; 3 – компрессор; 4 – конденсатор; 5 – отделитель жидкости; 6 – десублиматор; 7 – ресивер; 8 – вакуумметр; 9 – терморегулирующий вентиль

Во всех эксперимента температура в камере составляла  $40 \pm 2$  °С, остаточное давление было равно  $4 \pm 0,5$  кПа. Опыты проводили в трех повторностях для получения более достоверных результатов. Данные обрабатывались в программном обеспечении Microsoft Excel.

**Результаты и их обсуждение.** Вначале осуществляли вакуумную сушку при различной плотности теплового

потока. Данный параметр варьировали в диапазоне от 2 до  $10 \text{ кВт/м}^2$  с шагом в  $2 \text{ кВт/м}^2$ . Толщина слоя сушки составляла 10 мм.

На рисунке 2 приведены графики изменения относительной массы мёда в процессе вакуумной сушки при различной плотности теплового потока, а на рисунке 3 – скорости изменения относительной массы.

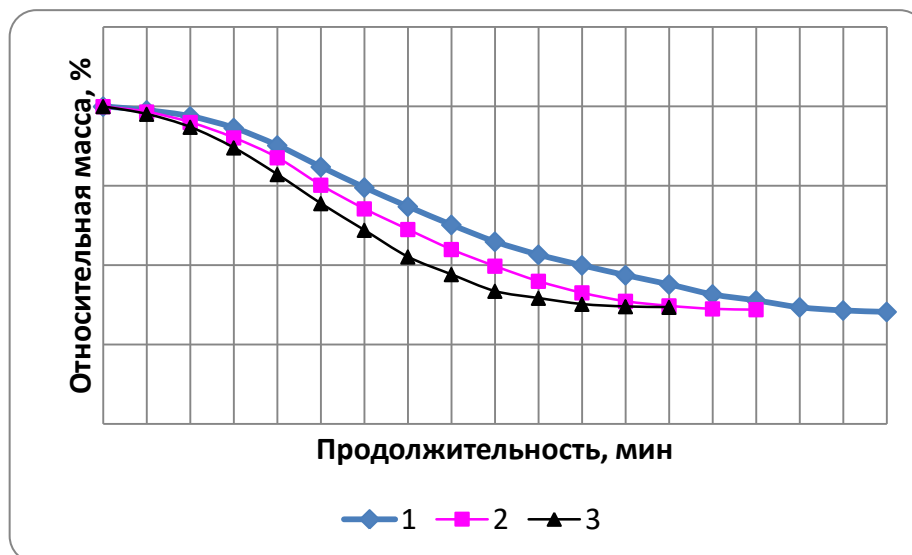


Рис. 2. Графики изменения относительной массы мёда в процессе вакуумной сушки при плотности теплового потока: 1 –  $2 \text{ кВт/м}^2$ ; 2 –  $6 \text{ кВт/м}^2$ ; 3 –  $10 \text{ кВт/м}^2$

Весь процесс вакуумной сушки можно условно разбить на три периода – период выхода установки на режим, при котором происходит постепенное повышение скорости удаления влаги; период постоянной скорости сушки, при котором удаляется большая часть влаги и период падающей скорости сушки. С увеличением плотности теплового потока происходит сокращение продол-

жительности сушки: при плотности теплового потока 2, 4 и  $6 \text{ кВт/м}^2$  продолжительность сушки составляла  $270 \pm 10$ ,  $240 \pm 10$  и  $225 \pm 10$  мин, а при плотности теплового потока 8 и  $10 \text{ кВт/м}^2$  – соответственно  $210 \pm 10$  и  $195 \pm 10$  мин. При этом также меняется влагосодержание обезвоженного продукта: при увеличении плотности теплового потока от 2 до  $10 \text{ кВт/м}^2$  оно меняется от 4,5 до 5 %.

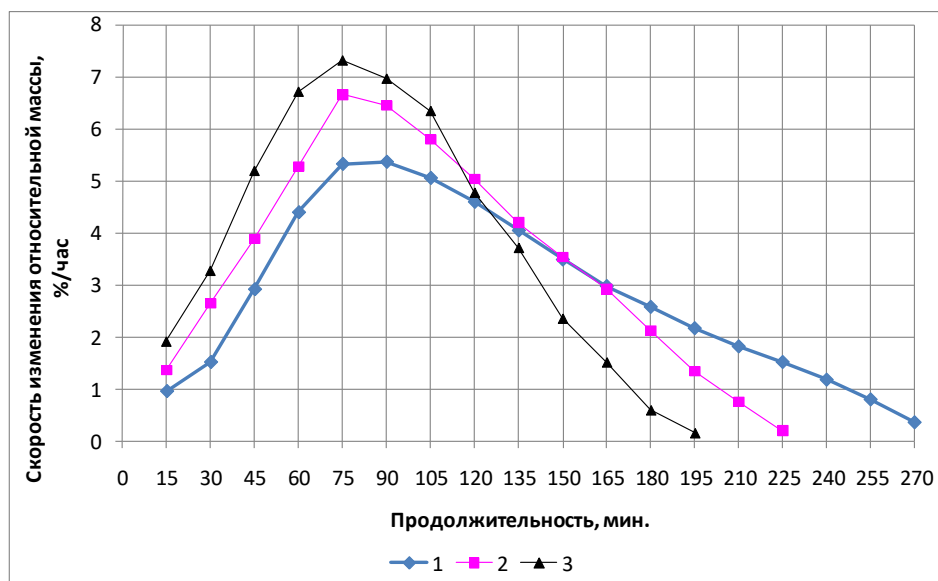


Рис. 3. Скорость изменения относительной массы при вакуумной сушке мёда при плотности теплового потока: 1 –  $2 \text{ кВт/м}^2$ ; 2 –  $6 \text{ кВт/м}^2$ ; 3 –  $10 \text{ кВт/м}^2$

Далее была проведена органолептическая оценка обезвоженного мёда. При этом оценивались такие показатели, как вкус, консистенция, запах и цвет по 10-балльной шкале. В таблице 2 приведены результаты данной оценки.

Чем ниже плотность теплового потока, тем более равномерное распределение температурного поля в продукте обеспечивается на начальном этапе сушки, что особенно благоприятно сказывается на таком показателе, как

консистенция. При высоких значениях плотности теплового потока консистенция обезвоженного продукта становилась неоднородной, что отражалось на качественных показателях. Исходя из вышепредставленных данных, можно заключить о целесообразности вакуумной сушки мёда при плотности теплового потока 4 кВт/м<sup>2</sup>, что обеспечивает относительно высокую органолептическую оценку, правильную консистенцию продукта и невысокую продолжительность обезвоживания (240 мин).

Таблица 2

Результаты органолептической оценки сухого мёда, балл

Показатель	Плотность теплового потока, кВт/м <sup>2</sup>				
	2	4	6	8	10
Вкус	8	8	7	7	7
Цвет	9	9	8	8	8
Запах	9	9	9	8	7
Консистенция	10	9	9	8	6
Итого	36	35	33	31	28

На следующем этапе исследований проводили эксперименты по вакуумной сушке мёда при толщине слоя 5, 10, 15 и 20 мм. Остальные параметры сушки оставались

неизменными, плотность теплового потока составляла 4 кВт/м<sup>2</sup>. В таблице 3 приведены показатели вакуумной сушки мёда при подборе толщины слоя.

Таблица 3

Показатели вакуумной сушки мёда при подборе толщины слоя

Показатель	Толщина слоя, мм			
	5	10	15	20
Продолжительность сушки, мин	180	240	275	300
Влагосодержание, %	4,3	4,6	4,9	5,4
Органолептическая оценка, балл	37	35	34	31

Установлено, что увеличение толщины слоя влечет за собой повышение продолжительности сушки, увеличение влагосодержания обезвоженного продукта и снижение его качества. Однако при этом увеличивается производительность сушильной установки, что особенно важно для организации промышленного производства сухого мёда. Целесообразным является процесс сушки при толщине слоя 15 мм. Влагосодержание продукта при этом не превышает 5 %, органолептическая оценка равна 34 баллам из 40, а продолжительность обезвоживания составляет 275±10 мин.

**Выводы.** Таким образом, на основании проведенных исследований были определены эффективные режимы вакуумной сушки мёда – плотность теплового потока 4 кВт/м<sup>2</sup>, толщина слоя продукта – 15 мм. Мёд целесообразно обезвоживать при остаточном давлении 4±0,5 кПа и температуре в камере 40 °С. При указанных режимах продолжительность сушки составляет 275±10 мин, а органолептическая оценка сухого продукта равна 34 баллам из 40.

#### Литература

1. Шилова А.В. Биохимические особенности мёдов разного ботанического и топографического происхождения // Вестн. молодых ученых ПГНИУ: сб. науч. тр. – Пермь, 2013. – С. 19–24.

2. Кайгородов Р.В., Шилова А.В., Самовольникова С.А. Влияние ботанического происхождения мёда на содержание витаминов С, В<sub>3</sub> и В<sub>6</sub> // Вестн. Перм. ун-та. Сер. Биология. – 2012. – № 1. – С. 45–48.
3. Пименов М.Ю. Мёд. Товароведческая характеристика и ветеринарно-санитарная экспертиза: учеб. пособие. – М.: Аквариум Принт, 2015. – 128 с.
4. Калорийность и пищевая ценность мёда // Пчеловодный вестник. – 2008. – № 8 (84). – С. 13–14.
5. Филиппов П.И., Филиппова В.П. Мёд и другие продукты пчеловодства в питании и медицине. – Ростов-н/Д: Феникс, 2003. – 256 с.
6. Ватолина М.Н., Мадонова С.В. Пищевая ценность и ветеринарно-санитарная экспертиза натурального пчелиного мёда // Молодежь и наука. – 2017. – № 6. – С. 28.
7. Ермолаев В.А. Особенности производства сухих сыров способом вакуумной сушки // Вестн. КрасГАУ. – 2009. – № 12. – С. 202–205.

#### Literatura

1. Shilova A.V. Biohimicheskie osobennosti mjodov raznogo botanicheskogo i topograficheskogo proishozhdenija // Vestn. molodyh uchenyh PGNIU: sb. nauch. tr. – Perm', 2013. – С. 19–24.

2. Kajgorodov R.V., Shilova A.V., Samovol'nikova S.A. Vlijanie botanicheskogo proishozhdenija mjoda na sodержanie vitaminov S, V3 i V6 // Vestn. Perm. un-ta. Ser. Biologija. – 2012. – № 1. – S. 45–48.
3. Pimenov M.Ju. Mjod. Tovarovedcheskaja harakteristika i veterinarno-sanitarnaja jekspertiza: ucheb. posobie. – M.: Akvarium Print, 2015. – 128 s.
4. Kalorijnost' i pishhevaja cennost' mjoda // Pchelovodnyj vestnik. – 2008. – № 8 (84). – S.13–14.
5. Filippov P.I., Filippova V.P. Mjod i drugie produkty pchelovodstva v pitanii i medicine. – Rostov-n/D: Feniks, 2003. – 256 s.
6. Vatolina M.N., Madonova S.V. Pishhevaja cennost' i veterinarno-sanitarnaja jekspertiza natural'nogo pchelinogo mjoda // Molodezh' i nauka. – 2017. – № 6. – S. 28.
7. Ermolaev V.A. Osobennosti proizvodstva suhix syrov sposobom vakuumnoj sushki // Vestn. KrasGAU. – 2009. – № 12. – S. 202–205.

УДК 664.87

В.А. Ермолаев, М.А. Яковченко

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЦЕСС ВАКУУМНОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ЧЕРЕМШИ

V.A. Ermolaev, M.A. Yakovchenko

### THE ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE TEMPERATURE ON THE PROCESS OF VACUUM DAMPING OF WILD LEEK

**Ермолаев В.А.** – д-р техн. наук, доц. каф. теплохладотехники Кемеровского государственного университета, г. Кемерово. E-mail: ermolaevvla@rambler.ru

**Яковченко М.А.** – канд. хим. наук, доц., зав. каф. природообустройства и химической экологии Кемеровского государственного сельскохозяйственного института, г. Кемерово. E-mail: mara.2002@mail.ru

**Ermolaev V.A.** – Dr. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Heating Systems, Kemerovo State University, Kemerovo. E-mail: ermolaevvla@rambler.ru

**Yakovchenko M.A.** – Cand. Chem. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Environmental Engineering and Chemical Ecology, Kemerovo State Agricultural Institute, Kemerovo. E-mail: mara.2002@mail.ru

Статья посвящена исследованию процессов вакуумной сушки черемши. При проведении экспериментов продолжительность вакуумной сушки черемши при температуре в камере 30, 40 и 50 °С составила соответственно 430, 360 и 280 мин. При температуре в камере 30 °С наибольшая скорость удаления влаги наблюдалась через 150–210 мин после начала процесса сушки и составляла 20–23 %/ч. При температуре в камере 40 и 50 °С максимум скорости наблюдается через 150 и 130 мин и составляет 26 и 34 %/ч соответственно. Проанализировано влияние вакуумной сушки на физико-химический состав черемши. При обезвоживании происходит повышение концентрации сухих веществ относительно абсолютной массы продукта, однако благодаря термическому воздействию наблюдается денатурация компонентов и их частичная потеря. Установлено, что при температуре 50 °С наблюдается существенное снижение содержания белка по сравнению с сушкой при температуре 40 °С. При повышении температуры сушки происходит снижение кислотности продукта, содержания сахаров и витамина С. Обнаружено, что независимо от температуры в камере сам процесс сушки крайне отрицательно сказывается на содержании витамина С. Представлена технологическая схема выработки сухой черемши с применением вакуумного обезвоживания. На основании проведенных исследований установлена целесообразность вакуумной сушки черемши при температуре 40 °С.

**Ключевые слова:** черемша, вакуумная сушка, температура.

The study is devoted to the research of vacuum drying processes of wild leek. While making the experiments the duration vacuum drying of wild leek at the temperatures under the chamber of 30, 40, and 50 °C made 430, 360 and 280 minutes, respectively. At the temperature in the chamber of 30 °C, the maximum rate of moisture removal was observed after 150–210 minutes after the start of drying process and made 20–23%/hour. At the temperature in the chamber of 40 and 50 °C the maximum speed was observed after 150 and 130 minutes and was 26 and 34 %/hour, respectively. The effect of vacuum drying on physical and chemical composition of wild leek was analyzed. During dehydration the concentration of solids increased relative to the absolute mass of the product, but due to thermal effects, the components were denatured and partially lost. It was found out that at the temperature of 50 °C there was significant decrease in protein content compared to drying at the temperature of 40 °C. When drying temperature rose, the acidity of the product decreased and negatively affected the content of sugars and vitamin C. It was found out that irrespective of the temperature in the chamber, drying process itself had very negative effect on vitamin C content. Technological scheme of dry leek powder production with vacuum dehydration application was presented. On the basis of conducted studies, the expediency of vacuum drying of wild leek at the temperature of 40 °C was established.

**Keywords:** ramson, vacuum drying, temperature.