

Разработка технологических режимов сушки сахара при пониженном давлении^S

В.А. ЕРМОЛАЕВ, д-р техн. наук, профессор¹ (e-mail: ermolaevva@rambler.ru)

А.А. СЛАВЯНСКИЙ, д-р техн. наук, профессор² (e-mail: mgutu-sahar@mail.ru)

Д.Е. ФЁДОРОВ, канд. техн. наук, доцент³

Д.П. МИТРОШИНА, аспирант² (e-mail: d_mitr96@mail.ru)

Н.Н. ЛЕБЕДЕВА, канд. техн. наук, доцент² (e-mail: n.lebedeva@mgutm.ru)

¹ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова»

²ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского» (ПКУ)

³ФГБОУ ВО «Кубзбасская государственная сельскохозяйственная академия»

Введение

Не секрет, что сахар занимает важное место в рационе питания человека [7]. Он является неотъемлемым компонентом при производстве кондитерских, хлебобулочных изделий, некоторых консервированных продуктов и т. д. [1, 2, 4, 11]. Основным сырьём для производства данного продукта являются сахарный тростник и сахарная свёкла. При этом качество сахара должно отвечать требованиям ГОСТ 33222-2015 «Сахар белый. Технические условия» [10]. В связи с этим сушка сахара играет немаловажную роль в формировании качества готового продукта [5, 12].

В производстве белый сахар выходит из центрифуг с содержанием влаги до 1,5 % [6]. Такой сахар склонен к образованию комков, поэтому его необходимо

обезвоживать до содержания влаги 0,10 % при хранении в мешках и до 0,04 % при бестарном хранении в силосах. После сушки следует охлаждение до температуры 22–25 °С. Почти вся влага в сахаре находится на его поверхности, что обуславливает достаточно быстрое её удаление.

Для обезвоживания сахара, как правило, применяются барабанные сушильно-охладительные установки. В данных установках сахар загружается во вращающийся перфорированный барабан с установленными внутри лопатками для его перемешивания. Благодаря такой конструкции сахар располагается сегментом, образуемым углом естественного откоса. Роль теплоносителя выполняет нагретый воздух.

Другим вариантом сушильной установки для сахара является сушилка виброкипящего слоя (рис. 1) [9]. В ней сахар после центрифуги подаётся на лоток, где происходит его равномерное распределение по высоте слоя и удаление комков. После распределительного лотка сахар попадает на сушильный лоток с перфорированным днищем, через отверстия которого выдувается нагретый воздух, и сахар обезвоживается.

Вопрос разработки других способов сушки сахара изучен достаточно мало, поэтому целью настоящей работы являлось исследование возможности обезвоживания сахара с применением пониженного давления. Как известно, пониженное давление способствует интенсифи-

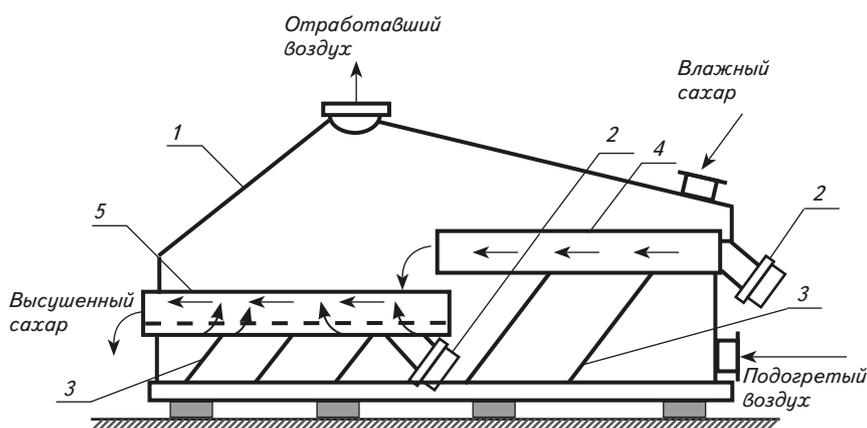


Рис. 1. Сушилка виброкипящего слоя для сахара: 1 – корпус; 2 – вибропривод; 3 – рессоры; 4 – распределительный лоток; 5 – сушильный лоток

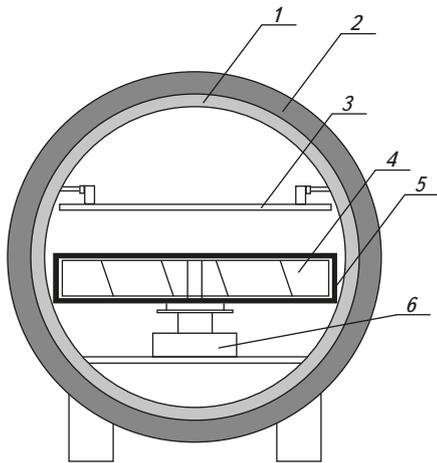


Рис. 2. Схема камеры для сушки сахара: 1 – корпус камеры; 2 – теплоизоляционный слой; 3 – плоские инфракрасные излучатели; 4 – мешалка; 5 – ёмкость для продукта; 6 – весы

кации процесса сушки за счёт снижения температуры кипения [3].

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования выступал сахар с влажностью 1,2 %. Для сушки были выбраны три способа: вакуумный при остаточном давлении 4–6 кПа, сублимационный при остаточном давлении 50 Па и баровакуумный. Схема сушильной камеры приведена на рис. 2.

В данной установке в качестве источников теплоты выступают плоские инфракрасные нагреватели 3 с регулируемой мощностью. Сахар сушится в ёмкости 5, внутри которой имеется лопастная мешалка 4, служащая для равномерного перемешивания массы. Высота слоя сахара составляла 30 мм. Для создания необходимого разрежения или избыточного давления в камере используются вакуум-насосы.

Изменение содержания влаги оценивали по изменению относительной массы продукта.

Вначале проводили опыты по вакуумной сушке сахара. Температуру нагрева варьировали в пределах от 30 до 60 °С с шагом в 10°. Сахар поступал на сушку с температурой 60 °С, которая была выбрана исходя из условий на производстве [8]. Сушку осуществляли до содержания влаги 0,14 %.

На рис. 3 приведены графики вакуумной сушки сахара при различной температуре нагрева.

В течение первых 6 мин установка выходит на рабочий режим по давлению. При этом наблюдается заметное снижение температуры сахара и уменьшение содержания влаги вследствие создания вакуума,

Таблица 1. Показатели эффективности сублимационной сушки сахара

Показатель	Температура нагрева, °С			
	30	40	50	60
Продолжительность сушки, мин	48	42	36	33
Содержание влаги в сухом сахаре, %	0,141	0,140	0,139	0,139
Температура сахара на выходе, °С	29,7	38,9	46,4	53,6

что, в свою очередь, приводит к резкому вскипанию и испарению влаги. Затем наблюдается экспоненциальное снижение скорости удаления влаги. Температура сахара при этом стремится к установленной

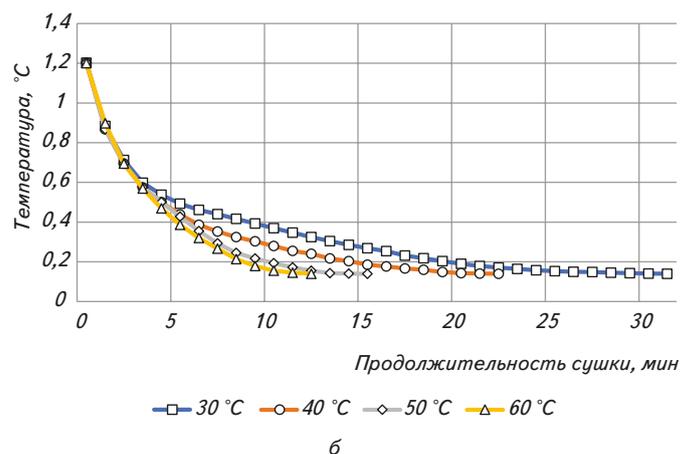
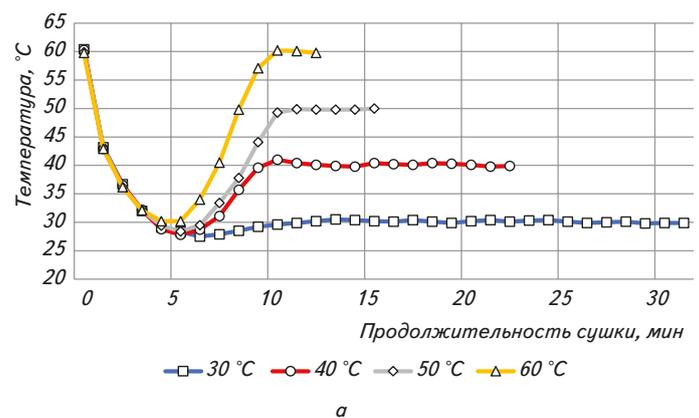


Рис. 3. Графики зависимости температуры (а) и содержания влаги (б) от продолжительности вакуумной сушки сахара

температуре нагрева. Общая продолжительность сушки сахара при установленных температурах нагрева 30, 40, 50 и 60 °С составила соответственно 31, 22, 15 и 12 мин.

Чем выше температура нагрева, тем большую температуру имеет сахар на выходе из сушилки, что представляется нежелательным. Поэтому целесообразно сушить сахар в условиях вакуума при наименьшей температуре нагрева, т. е. 30 °С. Однако при такой температуре сушка будет наиболее продолжительной.

Следующим этапом являлось исследование сублимационной сушки сахара. Опыты проводили без предварительной заморозки продукта. Лампы нагрева включались сразу после запуска установки, температуру нагрева в различных опытах также меняли в пределах от 30 до 60 °С с шагом в 10°. В табл. 1 приведены результаты сублимационной сушки сахара.

При сублимационной сушке остаточное давление в камере ниже давления тройной точки воды, поэтому влага замораживается и сублимирует в окружающую среду, минуя жидкую фракцию. По мере сублимации влаги температура продукта постепенно увеличивается из-за воздействия источника теплоты. Отмечено, что на выходе температура сахара после сублимационной сушки была на несколько градусов ниже по сравнению с вакуумной, что является положительным фактором. Однако продолжительность сушки при этом заметно увеличивается. Это обусловлено более долгим процессом сублимации и более длительным временем выхода вакуум-насоса на рабочее давление. Время сублимационной сушки сахара составило 33–48 мин в зависимости от температуры нагрева.

Далее проводили исследования по баровакуумной сушке сахара. Способ баровакуумной сушки заключается в том, что вначале в сушильную камеру нагнетается воздух под избыточным давлением 20 кПа. При этом работают инфракрасные лампы и сахар нагревается. После выдержки продукта в условиях избыточного давления в течение определённого времени давление резко сбрасывают до остаточного 4–6 кПа.

На рис. 4 приведены графики изменения давления в камере, температуры и содержания влаги в процессе баровакуумной сушки сахара при продолжительности выдержки под избыточным давлением 16 мин и температуре нагрева 60 °С.

На первом этапе сушки, когда продукт выдерживается под избыточным давлением, скорость удаления влаги составляла в среднем 0,07 %/мин. После сброса давления и создания разрежения в камере (на 17-й мин сушки) наблюдается заметный скачок в снижении содержания влаги в сахаре и температуры. Это

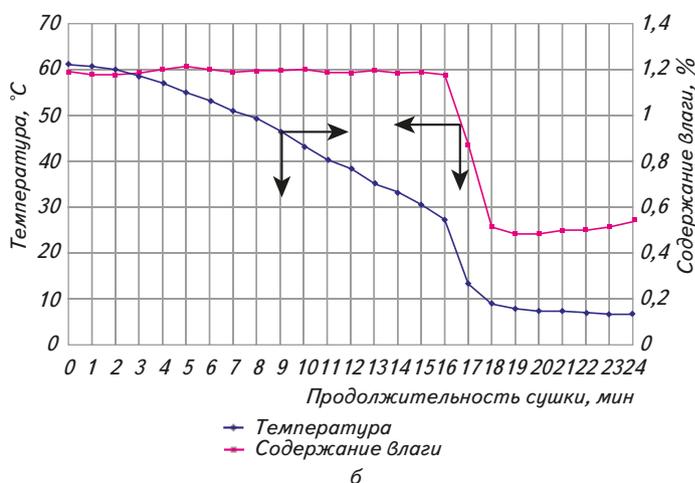
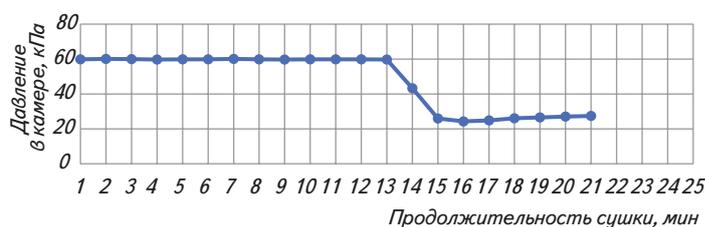


Рис. 4. Графики баровакуумной сушки сахара: а — давление в камере, б — температура и содержание влаги в продукте

обусловлено вскипанием влаги из-за резкого снижения давления. Через 2–3 мин после сброса давления наблюдается постепенное увеличение температуры продукта, так как продолжается воздействие ламп нагрева (рис. 4б). На выходе температура сахара в данном случае составляет 27 °С, что несколько ниже, чем при вакуумной или сублимационной сушке.

Проводили опыты при различной температуре нагрева. В табл. 2 представлены данные по продолжительности баровакуумной сушки и температуре продукта на выходе из сушильной камеры.

С точки зрения низкой температуры сахара на выходе целесообразно проводить баровакуумную сушку

Таблица 2. Показатели эффективности баровакуумной сушки сахара

Показатели	Температура нагрева, °С				
	40	50	60	70	80
Продолжительность сушки, мин	34	28	24	21	18
Температура сахара на выходе, °С	21,1	24,5	27,1	33,7	41,8

при температуре 40–50 °С. Продолжительность обезвоживания при этом составляет 28–34 мин. Это меньше, чем при сублимационной сушке, но несколько выше, чем при вакуумной. Повышение температуры нагрева до 80 °С позволяет сократить время сушки до 18 мин, однако температура продукта на выходе повышается до 41 °С, что является нежелательным.

Заключение

Таким образом, были проведены эксперименты по сушке сахара в условиях пониженного давления. Установлены зависимости параметров вакуумной, баровакуумной и сублимационной сушки на продолжительность обезвоживания и температуру продукта на выходе. С точки зрения продолжительности процесса наилучшие показатели наблюдались при вакуумной сушке, а с точки зрения температуры продукта на выходе – при баровакуумной. Сублимационная сушка характеризуется относительно высокой продолжительностью обезвоживания из-за специфики данного способа.

В ходе экспериментальных исследований была показана возможность обезвоживать сахар в условиях пониженного давления. Определённый интерес представляет баровакуумная сушка, так как температура продукта на выходе при таком способе была наименьшей и отпадает необходимость в дополнительном охлаждении продукта.

При дальнейшем изучении процессов сушки сахара при пониженном давлении возможен подбор других параметров сушки: скорости вращения мешалки, толщины слоя продукта, предварительного замораживания (при сублимационной сушке) и др. Представленные результаты исследований могут быть полезны научным сотрудникам и работникам пищевой промышленности.

Список литературы

1. *Кожевникова, И.А.* Роль сахара в кондитерском производстве / И.А. Кожевникова. – В мире научных открытий : матер. Междунар. студенч. научн. конф. – 2017. – С. 121–123.
2. *Лазарев, В.А.* Эволюция получения и распространение сахарного сырья, роль сахара в жизни человека / В.А. Лазарев, А.Р. Ершова // Наука и инновации в современном мире. – 2020. – С. 49–53.
3. Патент № 2462867 Российская Федерация, С1, А23В 7/02. Способ вакуумной сушки ягод : № 2011122882 : заявл. 06.06.2011 : опубл. 10.10.2012 : бюл. № 28 / В.А. Ермолаев, Д.Е. Федоров, Г.А. Масленникова; заявитель ГОУ ВПО Кемеровский технологический институт пищевой промышленности.

4. *Романов, М.В.* Роль и значение рынка сахара в обеспечении продовольственной безопасности страны / М.В. Романов // Экономические проблемы развития агропромышленного комплекса в условиях импортозамещения. – 2015. – С. 101–104.

5. *Славянский, А.А.* Сахар: назначение, свойства и производство : учеб. пособие / А.А. Славянский. – М., 2012. – 213 с.

6. *Славянский, А.А.* Центрифугирование и его влияние на выход и качество сахара : монография / А.А. Славянский. – М., 2007. – 180 с.

7. *Тужилкин, В.И.* О роли сахара в современном мире. Ч. I / В.И. Тужилкин, С.В. Штерман, А.Б. Бодин // Пищевая промышленность. – 2012. – № 7. – С. 54–57.

8. *Хафеман, Х.* Сушка и охлаждение сахара с учётом специфических требований и условий окружающей среды / Х. Хафеман, Х. Грибель // Сахар и свёкла. – 2013. – № 1. – С. 20–25.

9. *Хомякова, А.И.* Оборудование для сушки продуктов / А.И. Хомякова, Е.В. Мищенко // Научный электронный архив. – 2018. URL: <http://econf.rae.ru/article/10994> (дата обращения: 29.09.2021)

10. ГОСТ 33222-2015 «Сахар белый. Технические условия». – М. : Стандартинформ. – 23 с.

11. О механизме осаждения несахаров диффузионного сока на преддефекации / Ю.И. Сидоренко, А.А. Славянский, Г.А. Вовк [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2000. – № 12. – С. 25–28.

12. *Славянский, А.А.* Качество сахара-песка и его оценка : обзор / А.А. Славянский, В.И. Тужилкин. – М. : ЦНИИТЭИпищепром, 1975. – 29 с.

Аннотация. Статья посвящена исследованию влияния технологических режимов вакуумной, сублимационной и баровакуумной сушки сахара на эффективность процесса. Установлены зависимости параметров вакуумной, баровакуумной и сублимационной сушки на продолжительность обезвоживания и температуру продукта на выходе. С точки зрения продолжительности процесса наилучшие показатели наблюдались при вакуумной сушке, а с точки зрения температуры продукта на выходе – при баровакуумной.

Ключевые слова: сахар, вакуум, сублимация, давление, сушка.

Summary. The article is devoted to the study of the influence of technological modes of vacuum, sublimation and barovacuum drying of sugar on the efficiency of the process. Dependences of the parameters of vacuum, barovacuum and freeze drying on the duration of dehydration and the temperature of the product at the outlet have been established. From the point of view of the duration of the process, the best indicators were observed during vacuum drying, and from the point of view of the temperature of the product at the outlet – pressure vacuum.

Keywords: sugar, vacuum, sublimation, pressure, drying.