

Целесообразность применения пищевых ПАВ в процессах производства белого сахара^S

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

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

В.А. ГРИБКОВА, канд. техн. наук, доцент (e-mail: vera_gribkova@list.ru)

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

Н.В. НИКОЛАЕВА, канд. техн. наук, доцент (e-mail: nata_nik@inbox.ru)

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

М.Б. МОЙСЕЯК, канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Введение

Механизм зарождения пузырьков пара в кипящей утфельной массе на теплоотдающей поверхности паровой камеры вакуум-аппарата более сложен, чем в однокомпонентных жидких системах.

На данном этапе вокруг парового пузырька формируется слой, содержащий минимум воды, поэтому его перегрев возрастает на величину, приблизительно равную физико-химической депрессии. Дополнительный поток тепловой энергии от теплоотдающей поверхности способствует увеличению количества и размера паровых пузырьков в вязком высококонцентрированном утфеле.

Для усиления интенсивности кристаллизационных процессов сахарных растворов их следует проводить без повышения потенциала греющего пара. Снижение температурного потенциала в сахарной промышленности обеспечивается за счёт применения поверхностно-активных веществ (ПАВ). Они оказывают влияние на концентрационный слой и тем самым улучшают в нём встречный перенос реагирующих масс, снижая их гидродинамическое сопротивление [1, 2, 8].

Добавление ПАВ в увариваемый утфель приводит к изменению его реологических характеристик. Как следствие, возрастает вспенивающая способность сахарных растворов (в частности, это касается утфельных масс и межкристалльного раствора), а также активизируется взаимодействие кристаллов сахара и окружающих их растворов. Кроме того, благодаря дифильному строению (содержанию гидрофильных и липофильных частей) ПАВ усиливают способность растворов к смачиванию поверхности нагрева вакуум-аппаратов. Известно также о способности этих веществ адсорбироваться на границах раздела фаз в виде мономолекулярного слоя, что повышает скорость обмена веществ между фазами [2, 5–7].

Поверхностно-активные вещества воздействуют на поверхностное натяжение среды, вызывая его ослабление, поэтому их применение замедляет вскипание утфеля и образование критического парового пузырька. При этом повышается смачивающая способность сахаросодержащих растворов (сиропа, клеровки, оттока) и утфелей, что обеспечивает более эффективное выпаривание сока и уваривание утфелей.

Материалы и методы исследования

На сегодняшний день при производстве продуктов питания в качестве пищевого ПАВ используют разрешённую в России пищевую добавку E471 — моноглицериды жирных кислот. К отличительным особенностям моноглицеридов относят то, что они обладают высокой термостойкостью и диспергирующим действием, не зависят от величины pH среды и обладают высокой активностью на границе раздела фаз. Моноглицериды безопасны, в организме человека они расщепляются на природные компоненты — глицерин, жирные и органические кислоты. В производстве белого сахара эта пищевая добавка используется в малых количествах — несколько миллиграммов на 1 кг утфеля. Такой дозы достаточно для достижения необходимого результата, и при этом в конечном продукте моноглицериды практически отсутствуют.

Проведённые исследования позволили разработать два способа производства сахара на основе использования в них моноглицерида дистиллированного.

По первому способу [3], предусматривающему ступенчатое сгущение сиропа,

заводку центров кристаллизации, их наращивание, отбор части утфеля и уваривание остального утфеля до полной готовности, кристаллы сахара заводят в количестве 9–12 шт на 1 мм длины поверхности пробного стекла. Затем, после закрепления образовавшихся кристаллов сахара подкачками сиропа, при достижении коэффициента пересыщения 1,15–1,19 дважды раскачивают утфель фильтрованным соком II сатурации или сиропом – при достижении кристаллами размера сначала 0,10–0,15 мм, а затем – 0,2–0,3 мм. По завершении раскачивания величина коэффициента пересыщения в утфеле понижается до 1,10–1,12. Результаты получены экспериментальным путём, и в указанном сочетании их вы-

полнение полностью исключает возможность появления вторичных центров кристаллизации. Это положительно влияет на истощение межкристального раствора утфеля и качественные показатели кристаллов сахара. Раскачивание утфеля до пересыщения 1,10–1,12 обеспечивает рост кристаллов при минимальном включении в них несахаров.

Наращивание кристаллов сахара до отбора части утфеля в другой аппарат ведут при их содержании в нём в диапазоне 30–35 %. Если этот процесс проводят при содержании кристаллов менее 30 %, то между ними может удерживаться метастабильная зона и при пересыщении её диффундирующими молекулами сахарозы возможно образование новых (вторичных)

кристаллов – «муки» [1]. Если же процесс протекает при содержании кристаллов более 35 %, скорость кристаллизации снижается и возможно включение в кристаллы несахаров, особенно красящих веществ.

После завершения этой операции отбирают 40–45 % утфеля от общей массы из первого вакуум-аппарата в другой и далее уваривание проводят параллельно в двух аппаратах по типовой технологии. Затем в начале сгущения этих утфелей в каждый из вакуум-аппаратов вводят моноглицерид дистиллированный из расчёта 0,002–0,006 % по их массе.

Схема реализации разработанного способа представлена на рис. 1. В данном процессе использован отечественный моноглице-

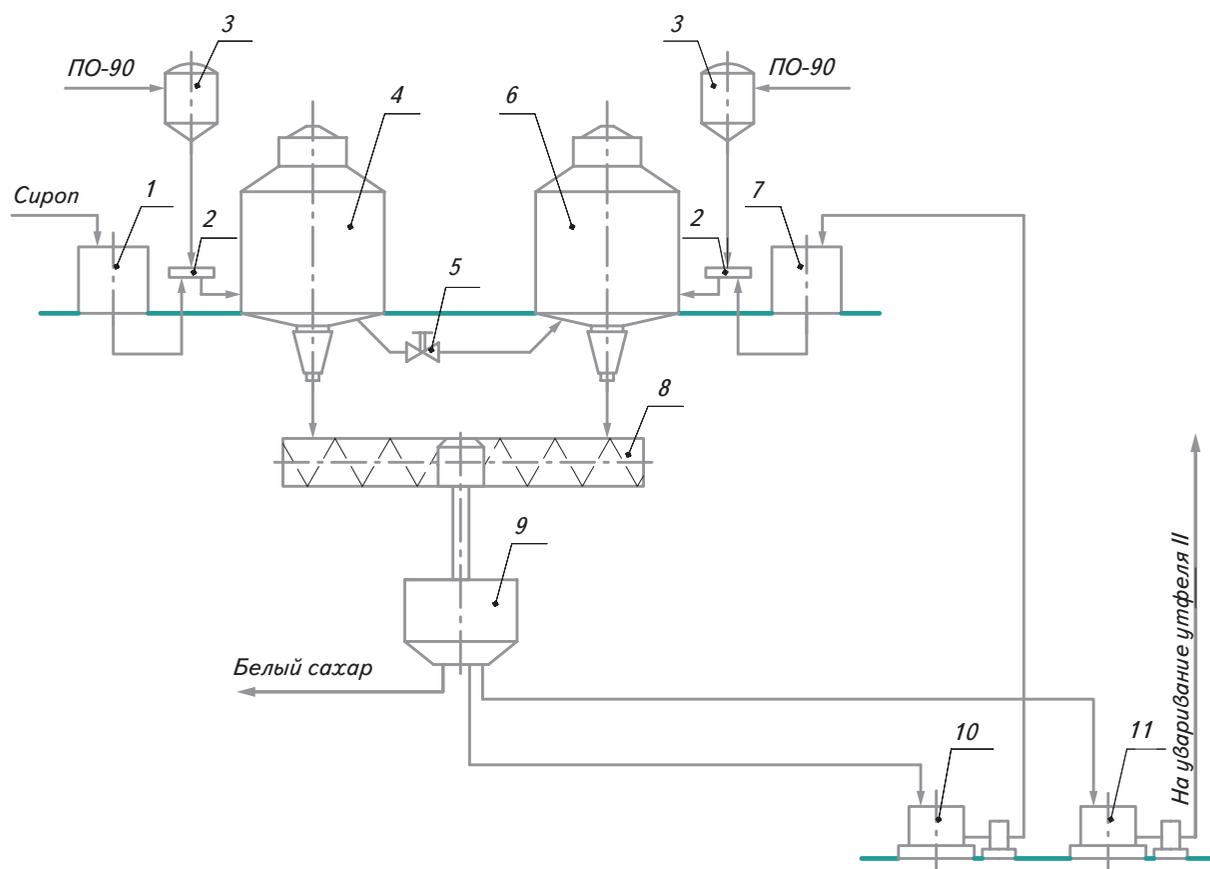


Рис. 1. Способ получения утфеля первой кристаллизации: 1 – сборник сиропа; 2 – коллектор; 3 – сборник ПО-90; 4 – вакуум-аппарат; 5 – вентиль; 6 – вакуум-аппарат; 7 – сборник второго оттока; 8 – утфелемешалка; 9 – центрифуга; 10 – сборник второго оттока после центрифуг; 11 – сборник первого оттока после центрифуг

рид мягкий марки ПО-90, который изготавливается промышленным способом и относится к пищевым ПАВ. Его применение позволяет повысить эффективность уваривания за счёт снижения вязкости, повышения массивной скорости кристаллизации сахарозы, улучшения истощения межкристалльного раствора [2].

Помимо этой марки ПАВ могут быть использованы и другие дистиллированные моноглицериды, произведённые из высококачественных рафинированных пищевых жиров, например марок М-90 и М-90А. Эти вещества имеют физико-химические и структурно-механические свойства широкого спектра. В табл. 1 и 2 приведены их органолептические и физико-химические показатели.

Получение моноглицеридов дистиллированных (МГД) высокой степени очистки основано на глицеролизе твёрдых жиров растительного или животного происхождения, при котором смесь моноглицеридов фракционируют на установке молекулярной дистилляции при высокой температуре и в условиях глубокого вакуума.

По своей химической природе моноглицериды дистиллированные представляют собой производные многоатомного спирта глицерина и высших жирных кислот. Они обладают способностью концентрироваться на поверхности раздела фаз и снижать межфазное поверхностное натяжение, а также отвечают за распределение несмешиваемых фаз, консистенцию пищевого продукта и его реологические свойства [2].

Испытания предлагаемого способа по сравнению с известным показали, что он позволяет увеличить выход кристаллического белого сахара на 1,5 % к массе утфеля. Несколько улучшаются качественные показатели вырабатываемого белого сахара, и на 12,5 % сокращается длительность про-

Таблица 1. Органолептические показатели пищевых ПАВ

Показатель	Моноглицериды дистиллированные			
	олеиновой кислоты (ненасыщенные, мягкие)			стеариновой кислоты (насыщенные, твёрдые)
	М-90	М-90А	ПО-90	М-1, М-2
Вкус и запах	Обезличенный			
Цвет при 18 °С	Белый, однородный по всей массе			
Консистенция и внешний вид при 18 °С	Однородные по всей массе			
Прозрачность после расплавления	Прозрачный			
Форма выпуска	В виде пластин	В виде пластин	В виде чешушек	В виде таблеток или порошка

Таблица 2. Физико-химические показатели пищевых ПАВ

Показатель	Моноглицериды дистиллированные			
	олеиновой кислоты (ненасыщенные, мягкие)			стеариновой кислоты (насыщенные, твёрдые)
	М-90	М-90А	ПО-90	М-1, М-2
Моноэфир	Не менее 94 %			
Свободный глицерин	Не более 1,0 %			
Кислотное число	Не более 3 мг КОН			
Йодное число I ₂ /100 г	Не менее 50 г	Не менее 70 г	Не менее 38 г	Не более 2 г
Температура плавления, °С	44–52	42–48	Не более 60	67–68
ГЛБ*	7			3,8
Срок хранения, месяцев	9	9	6–12	24

* Гидрофильно-липофильный баланс

цесса уваривания утфеля I кристаллизации.

Помимо этого был разработан второй способ уваривания утфеля I кристаллизации с применением моноглицерида дистиллированного [4]. В его основу положены такие технологические операции, как набор сиропа в вакуум-аппарат, его сгущение, введение в аппарат ПАВ, заводка кристаллов и их наращивание, уваривание и центрифугирование утфеля с его разделением на кристаллический белый сахар, первый и второй отёки (рис. 2).

В соответствии с предлагаемой технологией сироп вводят в вакуум-аппарат в смеси с клеровкой сахара II кристаллизации, причём её получают растворением сахара данной ступени сиропом темпера-

турой 80–90 °С до содержания 65–70 % сухих веществ в центрифугах и после набора в вакуум-аппарат сгущают до состояния пересыщения. Заводку центров кристаллизации проводят с использованием кристаллов сахара размером 0,150–0,180 мм. Существенным отличием этого способа является то, что ПАВ вводят в два этапа, сначала с центрами кристаллизации, а затем с клеровкой сахара III кристаллизации по завершении подкачек сиропа с клеровкой сахара II кристаллизации. В качестве ПАВ применяют моноглицерид дистиллированный.

Механизм воздействия ПАВ в процессе кристаллизации сахарозы достаточно сложен. Главным образом это связано с тем, что кристаллизация сахарозы в вакуум-

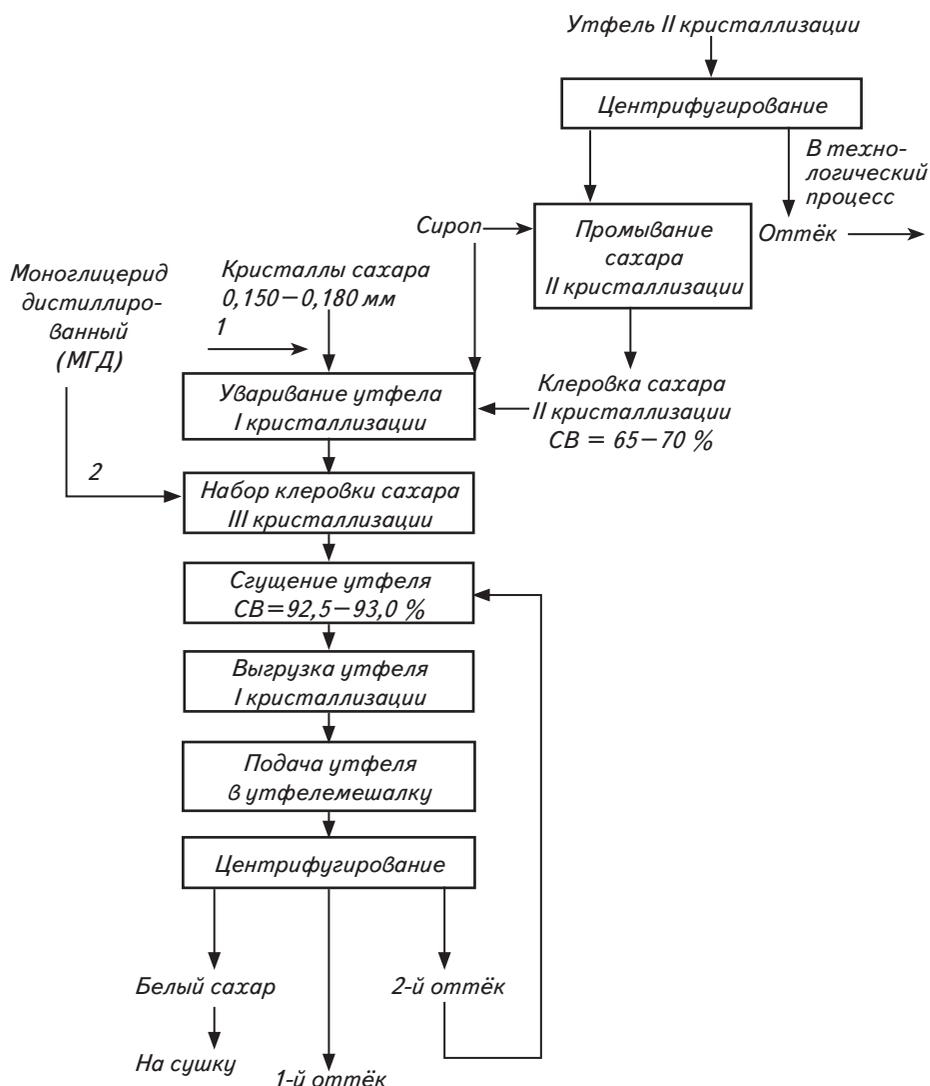


Рис. 2. Схема получения белого сахара: 1 – направление МГД на формирование центров кристаллизации; 2 – подача МГД на этапе сгущения утфеля I кристаллизации

аппарате протекает в условиях взаимодействия сахарозы с растворителем в присутствии различных несахаров. Как известно, скорость кристаллизации находится в зависимости от величины поверхностного натяжения на границе фаз кристалл – раствор. На этапе возникновения зародышей твёрдой фазы образуется поверхность раздела фаз, на которой происходит адсорбция ПАВ и снижается поверхностное натяжение. Молекулы ПАВ создают адсорбционные плёнки на поверхности молекул несахаров и препятствуют их адсорбции на поверхности расту-

щего ассоциата за счёт межмолекулярного притяжения (адгезии) [5, 6].

Основным преимуществом ввода ПАВ в утфель можно отнести их стабилизирующее действие на систему, повышающее её агрегативную устойчивость. Стабилизация системы за счёт действия ПАВ позволяет улучшить гранулометрический состав кристаллов сахара в ходе массовой кристаллизации сахарозы [1].

Снижение вязкости межкристалльного раствора и повышение подвижности утфеля путём ввода в них ПАВ приводит к увели-

чению скорости перемешивания кристаллов сахара в растворе. При этом создаются условия для быстрого обновления пограничного слоя кристаллов сахарозы, что в конечном итоге приводит к ускорению процесса её кристаллизации.

По завершении набора клеровки сахара III кристаллизации в утфель перед его окончательным сгущением до 92,5–93,0 % сухих веществ вводят второй оттек утфеля I кристаллизации.

Предлагаемый способ производства кристаллического белого сахара обеспечивает не только улучшение качественных показателей сахара, но и сокращение длительности процесса уваривания утфеля I кристаллизации.

Результаты

Сравнительный анализ рассмотренных способов проводился по следующим показателям качества сахара:

- технологические показатели: чистота утфеля I кристаллизации, содержание в нём сухих веществ, кристаллов сахара, время уваривания утфеля;

- физико-химические показатели: цветность, мутность раствора сахара, содержание редуцирующих веществ, содержание золы;

- гранулометрический состав: средний размер кристаллов сахара, коэффициент неоднородности, содержание сросшихся кристаллов.

Результаты сравнения представленных способов получения сахара приведены в табл. 3.

Выводы

Исследования показали, что эффективность моноглицеридов дистиллированных возрастает при уваривании утфелей с их использованием в несколько приёмов: в период набора вакуум-аппарата, перед заводкой центров кристаллизации и по завершении опе-

Таблица 3. Сравнение результатов предлагаемых способов получения сахара

Показатели процесса получения белого сахара	Технология получения	
	Патент РФ № 2497952	Патент РФ № 2507271
Чистота утфеля I кристаллизации в вакуум-аппарате, %	91,77	92,20
Содержание сухих веществ утфеля I кристаллизации в вакуум-аппарате, %	92,51	92,75
Средний выход кристаллов сахара из центрифуги, % к массе утфеля	49,1	51,8
Время уваривания утфеля, мин	220	200
Физико-химические показатели качества:		
цветность, ед. опт. пл.	97,5	84,5
мутность, физ. ед.	22,2	22
редуцирующие вещества, %	0,04	0,03
зола, %	0,026	0,022
Гранулометрический состав:		
средний размер кристаллов, мм	0,70	0,72
коэффициент неоднородности, %	26,5	24,2
содержание сросшихся кристаллов, %	44,2	34,6

рации наращивания кристаллов. Было отмечено, что перед использованием этих ПАВ рекомендуется предварительный их подогрев до 50–60 °С. В результате сравнительного анализа рассмотренных способов производства белого сахара было установлено, что при использовании моноглицеридов дистиллированных марки МГД время уваривания утфеля первой кристаллизации сокращается на 20 минут, а средний выход кристаллов увеличивается на 2,7 %.

Список литературы

1. *Славянский, А.А.* Специальная технология сахарного производства: учеб. пособие / А.А. Славянский. – 2-е изд., испр. – СПб. : Лань, 2020. – 216 с.
2. *Славянский, А.А.* Особенности и интенсификация процессов уваривания, охлаждения и центрифугирования утфеля последней кристаллизации: монография / А.А. Славянский, М.Б. Мойсеев. – М. : МГУПП, 2007. – 108 с.

3. Патент РФ 2497952 С1, С13В 30/00. Способ получения утфеля первой кристаллизации / А.А. Славянский, С.А. Макарова, Н.Н. Лебедева. – Опул. 10.11.2013, Бюл. № 31.

4. Патент РФ 2507271 С1, С13В 30/02. Способ уваривания утфеля I кристаллизации / А.А. Славянский, Е.А. Сергеева, Н.Н. Лебедева, С.А. Макарова. – Опул. 20.02.2014, Бюл. № 5.

5. *Славянский, А.А.* Технологическое оборудование сахарных заводов: классификация, техническая характеристика, расчёты, компоновка: учеб. пособие / А.А. Славянский. – М. : МГУПП, 2006. – 120 с.

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

6. *Славянский, А.А.* Сахар-песок как сырьё для производства карамели / А.А. Славянский, С.В. Штерман, З.Г. Скобельская // Кондитерское производство. – 2001. – № 1. – С. 14–16.

7. *Сидоренко, Ю.И.* Влияние поверхностно-активных веществ на технологические свойства сахара при его промышленной переработке / Ю.И. Сидоренко, А.А. Славянский, Ю.А. Султанович // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1999. – № 11. – С. 24–26.

Аннотация. Для повышения эффективности процесса кристаллизации сахарозы при уваривании утфелей могут применяться поверхностно-активные вещества (ПАВ). В статье рассмотрены особенности применения ПАВ в сахарном производстве. Были проанализированы основные органолептические и физико-химические характеристики пищевых ПАВ – моноглицеридов дистиллированных. В ходе исследования было разработано два способа производства белого сахара на основе использования в них пищевых ПАВ. Установлено, что эффективность уваривания утфеля первой кристаллизации с использованием моноглицеридов дистиллированных возрастает при их введении в несколько этапов: вначале в период закладки центров кристаллизации и затем по завершении процесса уваривания утфеля.

Ключевые слова: сахар белый кристаллический, поверхностно-активные вещества (ПАВ), моноглицерид дистиллированный, пищевые добавки, поверхностное натяжение.

Summary. To increase the efficiency of the sucrose crystallization process when boiling massecuite, surfactants can be used. The article discusses the features of the use of surfactants in sugar production. Were analyzed the main organoleptic and physicochemical characteristics of food surfactants – distilled monoglycerides. In the course of the study, two methods of producing white sugar based on the use of food surfactants were developed. It has been established that the efficiency of boiling the massecuite of the first crystallization using distilled monoglycerides increases when they are introduced in several stages: first, during the filling of crystallization centers and then upon completion of the massecuite boiling process.

Keywords: white crystalline sugar, surfactants, distilled monoglyceride, nutritional supplements, surface tension.