

Интенсификация процесса уваривания утфелей препаратом «Пенакон-М»

В.А. СОТНИКОВ, д-р техн. наук, директор (e-mail: swa862@mail.ru)

Т.Р. МУСТАФИН, канд. биолог. наук, зав. лабораторией

Предприятие «ПромАсептика»

И.Ю. ДЕЕВ, гл. технолог

ЗАО «Кристалл» (Выселковский сахарный завод)

Введение и цель работы

Процесс кристаллизации является завершающим этапом сахарного производства, от которого в значительной мере зависят потери сахара, его качество и технико-экономические показатели завода. Проведение данного процесса тесно связано с физико-механическими и физико-химическими свойствами сахарных растворов и суспензий (утфели и межкристалльные растворы). Одним из важнейших свойств этих растворов и суспензий является вязкость или текучесть (величина, обратная вязкости). Чем больше вязкость раствора или суспензии, тем больше расходуется энергии на их перемещение, тем медленнее протекают процессы концентрирования и кристаллизации утфеля и тем выше выход мелассы и содержание в ней сахара.

При повышении концентрации нес сахаров, особенно веществ коллоидной дисперсности, вязкость продуктов повышается. Пузырьки газа в сахарных растворах, преимущественно в рафинадной патоке, также значительно повышают их вязкость [1]. В утфелях с одинаковой массовой концентрацией кристаллов вязкость значительно больше там, где выше дисперсность кристаллов. Кроме того, слизистые вещества бактериального происхождения (декстран и леван) приводят к значительному увеличению вязкости сиропов и утфелей [2]. Ряд авторов [3, 4] указывают на факт положительной корреляции между содержанием кальция и вязкостью утфеля, объясняя эффект снижения функциональных свойств поверхностно-активных веществ (ПАВ) и деколорантов в присутствии антинакипинов.

Для улучшения и интенсификации технологических процессов применяют различные способы и приёмы, в том числе использование ПАВ. Наибольший эффект от пищевых ПАВ достигается при переработке сырья ухудшенного качества, в процессах получения и центрифугирования утфелей II и III кристаллизаций [5, 6].

На наш взгляд, на реологические свойства утфелей и мелассы оказывают влияние не только выше-

перечисленные факторы, но и электрокинетические характеристики этих систем, которые определяют устойчивость подобных дисперсий. Этот фактор наиболее значим для неньютоновских жидкостей (утфель, меласса), которые подчиняются степенному реологическому уравнению течения псевдопластического материала Оствальда-де-Вилля [7]. В них этот фактор устойчивости системы особенно выражен.

Мы предположили, что любые методы и приёмы, которые позволяют снизить устойчивость таких систем, должны привести к снижению вязкости псевдопластических жидкостей, что, в свою очередь, приведёт к интенсификации массообменных процессов концентрирования и кристаллизации утфелей.

Среди кинетических параметров стабильности коллоидной системы ζ -потенциал является одним из наиболее практически значимых. Прямая зависимость коагуляционной устойчивости суспензий и эмульсий от ζ -потенциала делает этот параметр незаменимым при экспериментальной экспресс-оценке характеристик стабильности дисперсных растворов [8], включая сахарные. Для молекул и частиц, которые достаточно малы, высокий ζ -потенциал будет означать стабильность, т. е. раствор или дисперсия будут устойчивы по отношению к агрегации. Когда ζ -потенциал низкий, притяжение превышает отталкивание, и устойчивость дисперсии будет нарушаться. Так, коллоиды с высоким ζ -потенциалом являются электрически стабилизированными, в то время как коллоиды с низким ζ -потенциалом склонны коагулировать или флокулировать.

Материалы и методы исследований

Определение физико-химических параметров технологических потоков осуществляли в соответствии с принятыми на производстве методами контроля.

Определение ζ -потенциала в утфелях и мелассе осуществляли методом фазово-контрастной микроскопии. В электрофоретическую ячейку тонкого слоя помещались образцы исследуемой пробы. На ячейку

накладывали электрическое поле постоянного тока с разностью потенциала 500 мВ и наблюдали за движением частиц в светлом поле микроскопа.

Текущность продуктов производства оценивали с помощью термостатированного при 60 °С консистометра Бовстика. За скорость истечения принимали время, за которое проба объёмом 50 мл проходила путь по наклонной плоскости (угол истечения 35°) длиной 7 см.

Результаты экспериментов и их обсуждение

На первом этапе исследований было необходимо выяснить, обладают ли изучаемые нами системы (утфель и меласса) электрофоретической подвижностью, т. е. присутствуют ли в них частицы, имеющие ζ -потенциал положительного или отрицательного заряда.

В работе был принят оптический метод определения ζ -потенциала. В соответствии с этим методом источник излучения освещает частицы, перемещающиеся под влиянием постоянного или переменного электрического поля. Частицы рассеивают излучение, а для получения изображения используют методы светлого поля.

Было выяснено, что подавляющая часть дисперсных частиц межкристального раствора перемещалась в анодную область ячейки. Концентрирование большей части дисперсных частиц в анодной области ячейки указывает на положительную величину ζ -потенциала этих частиц. При этом пузырьки воздуха, являясь электронейтральными, не обладали электрофоретической подвижностью (рис. 1).

Природа положительного заряда частичек коллоидной степени дисперсности утфеля обусловлена, вероятно, избыточной их перезарядкой от отрицательных значений до положительных в процессах очистки сока. Так, в процессах предефекации и дефекации

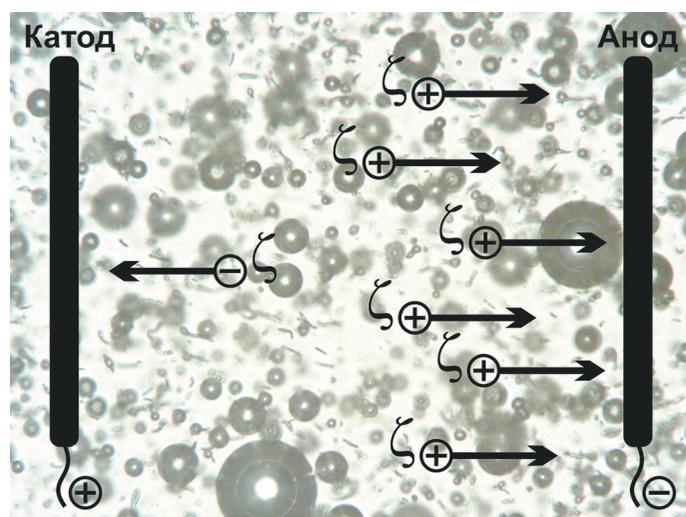


Рис. 1. Электрофоретическая подвижность частиц межкристального раствора

осаждаемые крупные молекулы белков, пектиновых веществ, частиц коллоидной степени дисперсности, имеющие изначально отрицательный заряд, концентрируются вокруг положительно заряженной частицы карбоната и гидроксида кальция и перезаряжаются до положительного заряда.

Можно предположить, что некоторая часть частиц несахаров с этим избыточным ζ^+ -потенциалом будет мигрировать со стадии очистки вплоть до стадии концентрирования и кристаллизации, что объясняет электрофоретическую подвижность утфеля и мелассы.

Логично было предположить, что, нейтрализуя этот ζ^+ -потенциал противознаковыми системами, а именно имеющими избыточный отрицательный ζ^- -потенциал, можно снизить устойчивость коллоидной системы и, вероятно, создать эффект снижения вязкости этой системы.

В качестве противознаковых систем были выбраны золевые суспензии и суспензии ПАВ. Золевые суспензии получены методом ультразвуковой обработки некоторых соединений кремния в неполярных растворителях и названы нами нейтрализаторами ζ -потенциала (НДП). ζ -потенциал НДП весьма значителен и составляет в среднем -135 мВ. При выборе суспензии ПАВ мы руководствовались тем же принципом. Применяемая коллоидная суспензия ПАВ, полученная методом ультрадиспергирования ПАВ в кавитационном поле, также имеет избыточный ζ^- -потенциал. Именно эта бинарная система (ПАВ+НДП) была положена в основу создания технологического вспомогательного средства — препарата «Пенакон-М».

Синтез НДП, технология приготовления золя на его основе, а также технология приготовления эмульсии ПАВ является собственной разработкой предприятия «ПромАсептика» и базируется на методах ультразвуковой обработки бинарной системы с последующим её ультрадиспергированием в кавитационном режиме смешивания. Все компоненты сырья выпускаются отечественными производителями.

Вероятно, механизм действия препарата «Пенакон-М» (рис. 2) заключается в его способности к комплексной нейтрализации бинарной системой (НДП и ПАВ) ζ^+ -потенциала частиц несахаров утфеля и мелассы. Нам представляется, что коллоидная устойчивость несахаров обусловлена мощной гидратной оболочкой, так как в частицы несахаров инкрустированы соединения кальция в виде моно- и дигидратов кальция, имеющие высокое сродство к воде. В свою очередь, увеличение количества связанной воды повышает вязкость коллоидных растворов.

Принудительная нейтрализация ζ^+ -потенциала препаратом «Пенакон-М» нивелирует электрофоретическую подвижность и уменьшает степень гидрати-

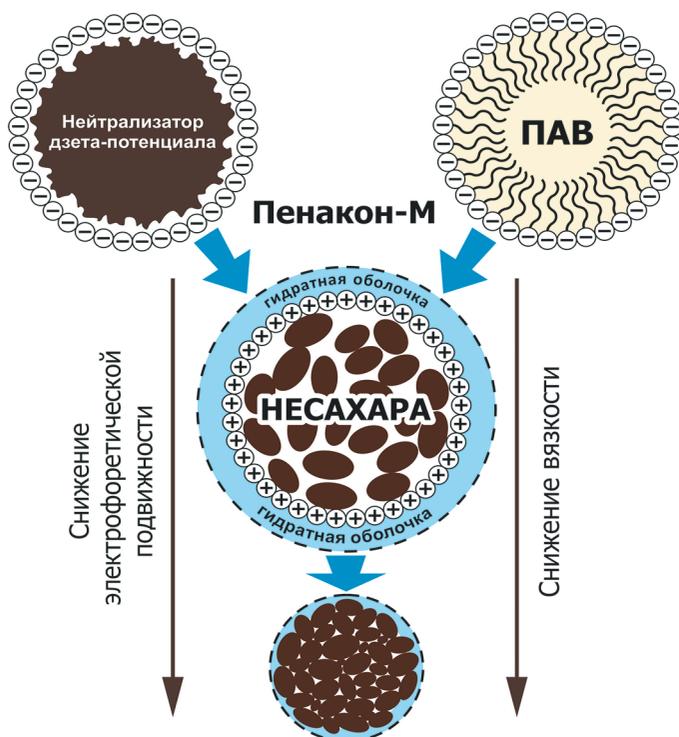


Рис. 2. Механизм действия препарата «Пенакон-М»

рованности частиц, что сопровождается их агломерацией (уплотнением). Возможно, этот механизм объясняет способность препарата «Пенакон-М» сильно (в три-четыре раза) увеличивать текучесть сиропов, утфелей, оттёков, а также мелассы и подавлять в них образование пены [9]. Однако эти исследования мы проводили в лабораторных условиях на модельных сахарных растворах и в статических режимах варки. Поэтому дальнейшие эксперименты были осуществлены в промышленных условиях (испытания препарата «Пенакон-М» в течение двух декад). Препарат «Пенакон-М» вносили в вакуум-аппараты после заводки суспензии затравочных кристаллов и начала зарождения кристаллов. Подачу препарата осуществляли через воронку затравочных кристаллов (рис. 3), категорически исключая замывку воронки водой (при смешивании препарата с водой теряются его функциональные свойства). Возможна подача препарата через ванну, но с предварительным опорожнением её от воды.

Расход препарата «Пенакон-М» для утфеля I кристаллизации – 0,0007 % к общей массе утфеля в вакуум-аппарате, для утфеля II и III кристаллизации – 0,0015 %. По мере снижения доброкачественности утфеля расход препарата увеличивали.

Входные технологические параметры (качество нормального сока свёклы, диффузионного, очищенного и стужённого соков) в контрольный период работы предприятия («Контроль») и в период испытательного препарата («Пенакон-М») в среднем были сравнимы между собой, что является условием корректности для сравнительной оценки технологических параметров процессов сахароварения (см. табл.).

Как показали испытания, применение препарата «Пенакон-М» способствовало снижению вязкости утфеля I кристаллизации, что положительным образом сказалось на процессе варки: при повышении текучести утфеля на 7 сек значительно снизился уровень пенообразования, на 10 мин сократилась длительность варки, на 0,4 % снизилась доброкачественность патоки I кристаллизации, на 3 сек сократилась длительность отбеливания сахара. Снижение вязкости благотворным образом сказалось на гранулометрическом составе сахара: объём кристаллов увеличился, а их габитус стал приближаться к нормальному (рис. 4 и 5). В межкристальном растворе снизилось содержание сахарной «муки». Снижение вязкости обусловило уменьшение толщины межкристальной плёнки, что объясняет эффект сокращения длительности отбеливания сахара в режиме поддержания стандартного уровня цветности сахара при центрифугировании.

Уваривание утфеля II и III кристаллизации осуществлялось также в присутствии препарата «Пенакон-М», но его расход был увеличен до 0,0015 %, так как доброкачественность этих утфелей ниже, чем утфеля I кристаллизации.



Рис. 3. Место введения препарата «Пенакон-М»

Таблица. Физико-химические показатели процессов сахароварения

Параметры*		Контроль	«Пенакон-М»
Нормальный сок	СВ, %	16,7	16,8
	Сх, %	14,5	14,5
	Дб, %	86,7	86,4
	рН	6,1	6,2
Диффузионный сок	СВ, %	13,6	13,5
	Сх, %	12,3	12,2
	Дб, %	88,3	88,2
Утфель I кристаллизации	СВ, %	91,8	91,8
	Дб, %	91,9	91,8
	рН	8,3	8,7
	ДВ, мин	166	156
	ДО, сек	15	12
	Т, сек	27	20
Патока I кристаллизации	СВ, %	81,9	82,4
	Дб, %	82,1	81,7
Утфель II кристаллизации	СВ, %	95,3	95,1
	Дб, %	84,7	83,6
	рН	7,8	7,6
	ДВ, мин	180	153
Утфель III кристаллизации	ДВ, мин	261	233
	Т, сек	67	28
Пенообразование в утфеле		—	подавляется
Высота слоя пены в мелассохранилище	м	4,5	0,8
Меласса	СВ, %	85,6	86,1
	Сх, %	48,3	47,1
	Дб, %	56,4	54,7
	рН	7,3	7,1
	УВ	0,97	1,15
Выработано сахара, т/сут		885	892
Выработано мелассы, т/сут		333	299
Выход сахара, % к массе свёклы		11,39	11,65
Выход мелассы, % к массе свёклы		3,90	3,76

*Примечание: СВ – сухие вещества, Сх – содержание сахара, Дб – доброкачественность, ДВ – длительность варки, ДО – длительность отбеливания сахара, УВ – удельный вес, Т – текучесть.

Обнаруженный в процессе испытаний факт снижения средней величины доброкачественности утфеля II кристаллизации в испытательный период на 1,1 % по сравнению с контрольным периодом вполне объясним более глубоким эффектом истощения патоки I кристаллизации под воздействием препарата «Пенакон-М». Поэтому в варочном ряду утфелей I, II и III кристаллизации их доброкачественность закономерно снижалась, как и закономерно снижалась их текучесть: 27 сек у I утфеля; 49 сек у II утфеля и 67 сек у III утфеля.

Пенакон-М



Рис. 4. Утфель I кристаллизации («Пенакон-М»)

Введение в эти утфели препарата «Пенакон-М» ещё больше повышало их текучесть, и наиболее ярко этот эффект проявлялся для варки III утфеля. Препарат повысил текучесть I утфеля на 7 сек, II утфеля – на 21 сек, а III утфеля – уже на 39 сек. Его разжижающая способность способствовала сокращению длительности варки утфелей в этом ряду на 10, 33 и 28 мин соответственно.

Выявленный сильный эффект антивспенивания утфелей, и особенно III утфеля для предприятия имеет очень важное экономическое значение, так как пена в мелассе (рис. б) снижает её наливную плотность, и к тому же эта меласса более склонна к самозакисанию и к самовозгоранию.

Введение препарата «Пенакон-М» по всей цепочке варочного ряда интенсифицировало процессы исто-

Контроль



Рис. 5. Утфель I кристаллизации («Контроль»)

шения сахарных растворов и в конечном результате привело к снижению содержания сахарозы в меласе на 1,2 %, снизило доброкачественность на 1,7 % и повысило её удельный вес с 0,97 кг/м³ до 1,15 кг/м³, т. е. на 0,18 кг/м³. Поэтому в меласохранилище обеспененная меласса имела незначительную высоту пенного слоя («шапки»).

Интегрально применение препарата «Пенакон-М» на предприятии с установленной мощностью по переработки свёклы 8 тыс. т/сут позволило в среднем за сутки:

- повысить выработку сахара на 7 т/сут;
- снизить выработку мелассы на 34 т/сут;
- повысить выход сахара на 0,26 %;
- снизить выход мелассы на 0,14 %.

Выводы

В результате промышленных испытаний была зафиксирована способность препарата «Пенакон-М» интенсифицировать массообменные процессы концентрирования и кристаллизации сахарных растворов благодаря эффекту снижения вязкости сиропов, утфелей и оттёков: сократилась длительности варки продуктов и их вспениваемость. Установлено, что эффект от воздействия препарата «Пенакон-М» проявлялся тем ярче, чем ниже чистота сахарных растворов. Интегральный эффект от применения препарата выразился в повышении выхода сахара за счёт снижения выхода мелассы и содержания в ней сахара.

Список литературы

1. Сапронов, А.Р. Технология сахарного производства / А.Р. Сапронов. – М. : Колос, 1999. – 494 с.
2. Сапронова, Л.А. Вязкость продуктов сахарорафинадного производства и способы снижения её влияния на технологические процессы : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.05 / Людмила Алексеевна Сапронова. – М., 1984. – С. 23.



Рис. 6. Пенообразование в мелассе

3. Беляева, Л.И. Состояние пищевой системы утфеля I кристаллизации при совокупном действии ПАВ, деколоранта сахара, антинакипина / Л.И. Беляева, А.В. Остапенко, В.Н. Лабузова, Т.И. Сысоева // Вестник ВГУИТ. – Т. 80. – 2018. – № 4. – 2018. – С. 151–155.

4. Хомичак, Л. Соли кальция и их влияние на эффективность производства и качество сахара / Л. Хомичак, С. Василенко, В. Кухар // Вісник цукровиків України. – 2014. – № 5 (96). – С. 13–16.

5. Мойсеяк, М.Б. Интенсификация процессов получения и центрифугирования утфеля последней кристаллизации с применением поверхностно-активных веществ : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.05 / Марина Борисовна Мойсеяк. – М., 2006. – 22 с.

6. Суходол, В.Ф. Влияние ацетилованных моноглицеридов на вязкость и поверхностное натяжение мелассы и её растворов / В.Ф. Суходол, А.М. Куц, И.С. Шукатка // Пищевая промышленность : Республ. межведомственный научно-технич. сб. – 1989. – Вып. 35. – С. 70–72.

7. Подгорнова, Н.М. Развитие научных основ и совершенствование очистки соков и кристаллизации из сахаросодержащих растворов : автореферат дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.05 / Надежда Михайловна Подгорнова. – М., 2000. – С. 48.

8. Бельский, Д.И. Определение ζ-потенциала. Краткий обзор основных методов / Д.И. Бельский, М.В. Балаханов, Е.В. Лесников // Аналитика. – 2017. – № 3 (34). – С. 82–89.

9. Сотников, В.А. Утфель и меласса: вязкость и пенообразование неньютоновских жидкостей / В.А. Сотников, Т.Р. Мустафин // Сахар. – 2021. – № 8. – С. 24–28.

Аннотация. В статье представлены результаты промышленных испытаний технологического вспомогательного средства – препарата «Пенакон-М», являющегося бинарной смесью ПАВ с нейтрализатором ζ⁺-потенциала. Его применение в технологии концентрирования и кристаллизации сахарных растворов позволило снизить их вязкость, что привело к сокращению длительности варки утфелей, повысило эффективность их истощения, улучшило качество сахара и предотвратило процессы пенообразования сиропов, утфелей и мелассы.

Ключевые слова: меласса, утфель, кристаллизация, вязкость, ПАВ, ζ⁺-потенциал, препарат «Пенакон-М», пенообразование.

Summary. The article presents the results of industrial tests of a technological aid – the medication «Penacon-M», which is a binary mixture of surfactants with a neutralizer of the ζ⁺-potential. Its use in the technology of concentration and crystallization of sugar solutions made it possible to reduce their viscosity, which led to a reduction in the duration of cooking masseccuite, increased the efficiency of their depletion, improved the quality of sugar, and prevented the processes of foaming of syrups, masseccuite and molasses.

Keywords: molasses, masseccuite, crystallization, viscosity, surfactant, ζ⁺-potential, the medication «Penacon-M», foaming.