

8. Численное моделирование неізотермического влагопереноса в биологических коллоидных пористых материалах // Струмилло Ч., Гринчик Н.Н., Куц П.П. и др.// Инженерно-физический журнал. – 1994. – Т. 66, № 2. – С. 202–212.

9. Гринчик Н.Н., Куц П.П., Акулич П.В. Моделирование тепловлагопереноса и поверхностных явлений в биологических коллоидных пористых материалах// Материалы Междун. форума Теплообмен ММФ-96. – Минск: ИТМО им. А.В.Лыкова НАНБ, 1996. – Т.7. – С. 21–28.

10. Корнюхин И.П., Жмакин Л.И. Теплообмен в пористых телах. М: ОЭЭП РАН, Информэлектро, 2000. 235 с.

11. Whitaker S. Simultaneous heat and momentum transfer in porous media: theory of drying// Advance in Heat Transfer. Academic Press, New York. – 1977. – P. 119–203.

12. Никитенко Н.И., Снежкин Ю.Ф., Сорокова Н.Н. Математическая модель и метод расчета теплообмена и фазовых превращений в процессах сушки // Промышленная теплотехника. – 2001. – Т. 23, № 3. – С. 65–73.

13. Никитенко Н.И., Снежкин Ю.Ф., Сорокова Н.Н. Моделирование теплообмена, фазовых превращений и усадки при сушке // Труды Международной научно-практической конференции “Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов)”. Т. 2. – М.: МГАУ. – 2002. – С. 49–53.

14. Гришин М.А., Погужих Н.И., Потапов В.А. Модель динамического структурирования влаги в процессе сушки // Промышленная теплотехника. – 2001. – Т. 23, № 4–5. – С. 100–105.

15. Потапов В.А., Погужих Н.И. Модель поведения влаги в процессах сушки// Промышленная теплотехника. – 2003. – Т. 25, № 4. – С. 423–425.

16. Потапов В.А., Погужих Н.И., Цуркан Н.М. Экспериментальное определение движущих сил кинетики сушки// Труды Международной научно-практической конференции “Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов)”. – Т. 2. – М.: МГАУ. – 2002. – С. 118–121.

Получено 27.08.2005 г.

УДК 663.812;538.953

Ободович А.Н., Хибина М.А., Боряк Л.А.,
Ободович А.А., Тесля А.И.

Институт технической теплофизики НАН Украины

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГЛЮКОЗО-ФРУКТОЗНЫХ СИРОПОВ ЗА СЧЕТ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ

Представлена вдосконалена енерго-та ресурсозберігаюча технологія виробництва глюкозо-фруктозних сиропів з сахарози із застосуванням механохімічної обробки.

Представлена усовершенствованная энерго- и ресурсосберегающая технология производства глюкозо-фруктозных сиропов из сахарозы с применением механохимического воздействия.

The improved energy-saving and resources-economy technology of glucose-fructose syrups production from a saccharose with the use of the mechanochemistry treatment is presented.

ГФС – глюкозо-фруктозный сироп;
ОМФ – оксиметилфурфурол;
РПА – роторно-пульсационный аппарат;

СВ – сухое вещество;
Т – температура;
t – время.

В настоящее время в передовых странах мира вырабатывают сахаристый продукт – глюкозо-фруктозный сироп, по сладости и пищевой ценности, не уступающий сахару. ГФС нашел широкое применение в кондитерской, безалкогольной, ликероводочной, консервной и других отраслях пищевой промышленности, а также в медицине [1,2].

ГФС – высококачественный жидкий сахар. При употреблении в пищу он не вызывает резких колебаний уровня глюкозы в крови, положительно влияет на обмен углеводов, хорошо усваивается организмом, при этом исключаются побочные явления. Глюкозно-фруктозные смеси могут найти применение при лечении заболеваний, сопровождающихся нарушением углеводного обмена, показаны больным сахарным диабетом, ожирением, атеросклерозом, а также людям, испытывающим большие умственные и физические нагрузки.

Сырьем для производства ГФС может служить: крахмал, виноградные выжимки, сахарное сорго, цикорий, сахароза.

Приготовление ГФС осуществляется разными способами: ферментативным, кислотным, катионитовым, при помощи активированного угля [3].

Наиболее простым, эффективным и распространенным способом является получение глюкозо-фруктозных сиропов из сахарозы.

ГФС вырабатывают по различным схемам, применяя различные катализаторы: инвертирование сахарозы минеральными (соляная, серная) или органическими (лимонная, молочная, винная) кислотами с последующей нейтрализацией; инвертирование с помощью полимерных ионообменных смол; получение инвертированного сахарного сиропа с помощью активированного угля.

Перечисленные схемы получения ГФС имеют свои преимущества и недостатки. Недостатком инвертирования сахарозы минеральными кислотами является дополнительный процесс последующей их нейтрализации, что значительно увеличивает продолжительность и энергоемкость технологии. Применение органических кислот позволяет проводить процесс инверсии не более чем на 55 %. Это связано с повышенным накоплением оксиметилфурфуrolа.

В связи с этим возникает необходимость разработки высокоэффективной энерго- и ресурсосберегающей технологии приготовления инвертного сахарного сиропа из сахарозы.

Для решения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Подобрать теплообменное оборудование, позволяющее проводить механохимическую деструкцию вязких высокомолекулярных соединений.

2. Определить оптимальные технологические режимы процесса инверсии сахарозы:

2.1. Концентрацию раствора сахарозы.

2.2. Содержание лимонной кислоты в растворе сахара.

2.3. Температурные режимы инверсии.

2.4. Продолжительность процесса инверсии.

2.5. Содержание оксиметилфурфуrolа в готовом ГФС.

3. Разработать технологическую инструкцию по приготовлению инвертного сиропа с применением механохимической деструкции.

Для решения поставленных задач изучена существующая технологическая схема приготовления инвертного сахарного сиропа из сахарозы, которая представлена на рис. 1.

Варку сахарного сиропа производят в эмалированных варочных аппаратах с паровой рубашкой. Сначала подают в аппарат воду и нагревают до 60 °С. После этого постепенно подают сахар при непрерывном нагревании и размешивании раствора механической мешалкой. Продолжительность кипячения сиропа составляет 30 минут. Готовый сироп представляет собой густую жидкость концентрацией 60...66 %.

Затем сироп охлаждают до температуры 80 °С и проводят процесс инверсии сахарозы путем добавления 25 %-ного водного раствора лимонной кислоты, из расчета 100 г кислоты на 100 кг сахара. Подкисленный сироп выдерживают 2 часа при непрерывном перемешивании, затем фильтруют и охлаждают. При указанных условиях инвертируется до 55 % сахарозы. Проводить инверсию сахарозы более чем на 55 % невозможно, так как в сиропе накапливается оксиметилфурфуrol в количествах, недопустимых Минздравом. (Содержание оксиметилфурфуrolа в сиропе не должно превышать 100 мг на 1 л сиропа).

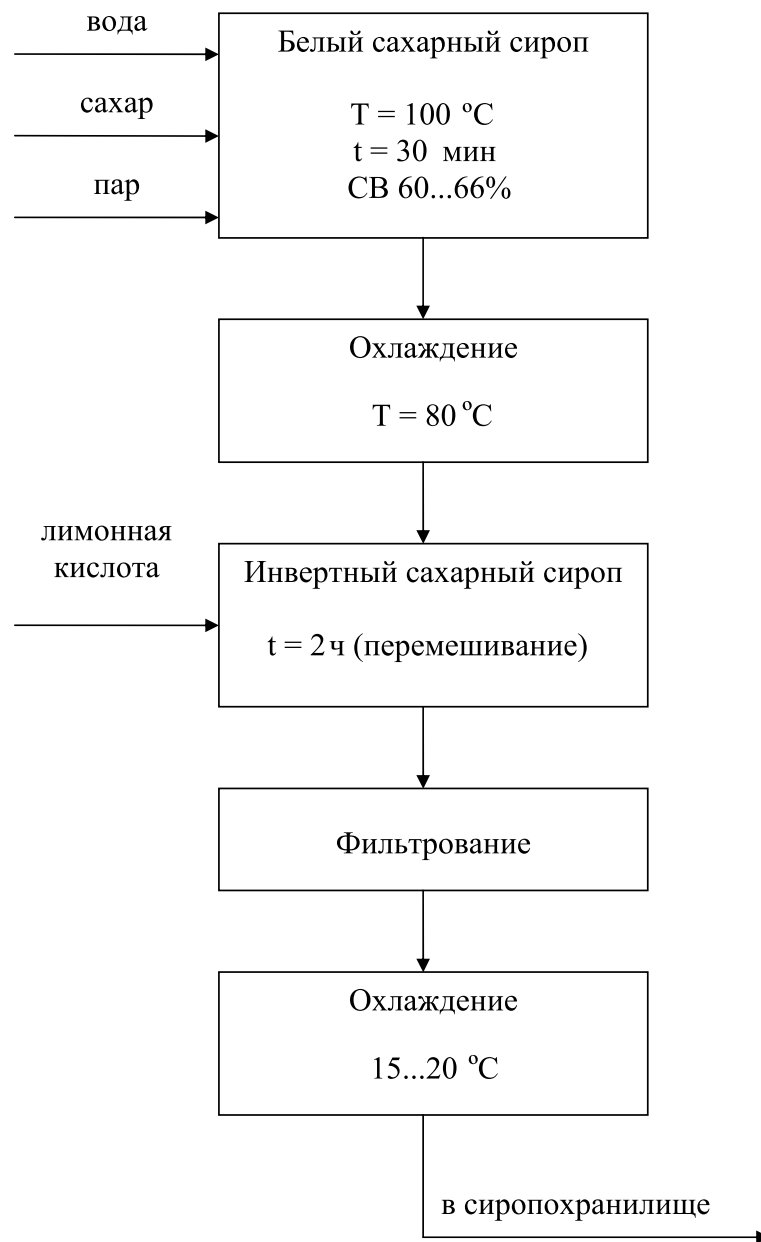


Рис. 1. Существующая технологическая схема приготовления инвертного сахарного сиропа из сахарозы.

В ИТТФ НАНУ были проведены исследования с целью оптимизации процесса инверсии сахарозы. В результате исследований установлено, что на процесс инверсии влияет концентрация сиропа, температура и продолжительность, количество лимонной кислоты.

Установлено, что в период быстрой инверсии происходит незначительное разложение инвертного сахара. Ускорить гидролиз целесообразнее всего повышением температуры. Реакция инверсии подчиняется правилу Вант-Гоф-

фа, согласно которому при повышении температуры на 10 °C скорость реакции увеличивается в 2...4 раза, а ее длительность во столько же раз уменьшается.

Были проведены исследования по изучению образования инвертного сахара, оксиметилфурфурола и прироста сухих веществ в сиропах.

Объектом исследования был выбран белый сахарный сироп с концентрацией 65 % СВ, в который задавали раствор лимонной кислоты из расчета 100 г кислоты на 100 кг сахара.

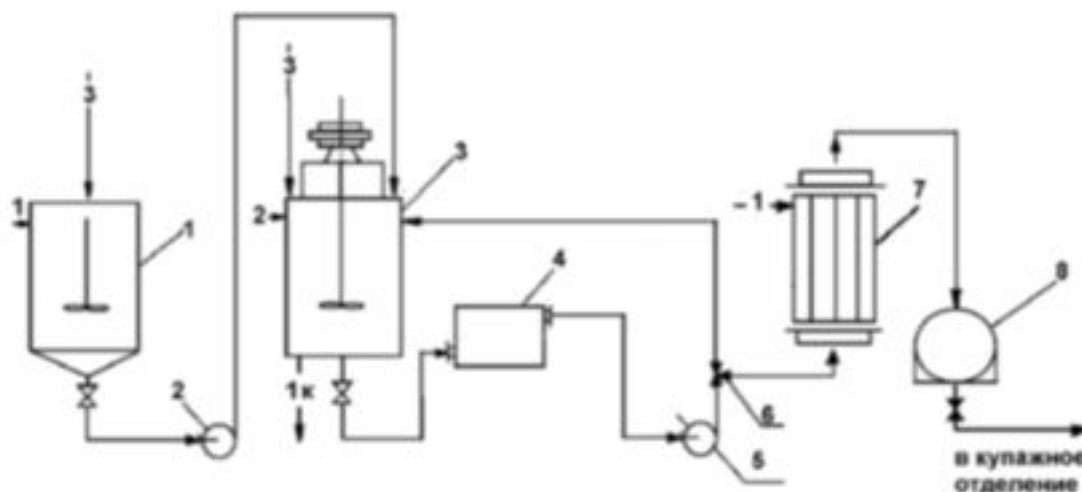


Рис. 2. Аппаратурно-технологическая схема приготовления инвертных сахарных сиропов по предлагаемой технологии. 1 – аппарат для приготовления раствора лимонной кислоты; 2 – насос; 3 – сироповарочный аппарат; 4 – фильтр-ловушка; 5 – РПА; 6 – трехходовой кран; 7 – теплообменник; 8 – сборник; — — основной продукт; — 1 → — вода; — 1к → — конденсат; — 2 → — пар; — 3 → — раствор лимонной кислоты.

Инверсию сахарозы проводили по описанной выше существующей и предлагаемой технологиям. Предлагаемая технология отличается тем, что процесс инверсии проводят с применением механохимической деструкции, которая осуществляется посредством роторно-пульсационных аппаратов. Аппаратурно-технологическая схема представлена на рис. 2.

Смесь белого сахарного сиропа с раствором лимонной кислоты из сироповарочного аппарата 3 через фильтр-ловушку 4 поступает в РПА 5. Трехходовый кран 6 позволяет либо направить сироп на рециркуляцию, либо на охлаждение в теплообменник 7, а затем в сиропохранище.

Исследования проводили с применением РПА марки ТФГ. Зазор между статором и ротором составлял 500...700 мкм [4].

Физико-химические показатели сиропа в зависимости от режима инверсии, приготовленного по существующей и предлагаемой технологии представлены в табл. 1.

Данные, представленные в табл. 1, свидетельствуют о том, что инверсия сахарозы, проведенная предлагаемым способом, проходит на порядок быстрее и осуществляется в первые 30 мин. При температуре 80 °С за 0,5 ч инвертируется 100 % сахарозы, массовая доля СВ составляет 105,2 %, массовая доля ОМФ не превышает норм, установленных Минздравом [5].

С целью оптимизации процесса были проведены дополнительные исследования возможности повышения температуры инверсии и сокращения продолжительности процесса. Данные экспериментов представлены в табл. 2. В результате исследований установлено, что при температуре 80 °С и продолжительности инверсии 15 мин гидролиз сахарозы проходит на 100 %, массовая доля ОМФ составляет 82,1 мг/1000 г. За указанный промежуток времени исследуемый сироп объемом 100 л проходит через рабочий орган РПА 30 раз (циклов). Установлено, что один цикл для данного объема сиропа с концентрацией 65 % СВ составляет 30 секунд.

Вторая серия экспериментов проводилась при температуре 90 °С. Полученные данные свидетельствуют о том, что за 2 мин (4 цикла) в РПА проходит 100 %-ная инверсия сахарозы с минимальным образованием ОМФ. Массовая доля СВ увеличивается на 5,2 %.

Таким образом, установлено, что для проведения 100 %-ной инверсии сахарозы необходимо механохимическое воздействие, которое осуществляется в РПА при температуре 90 °С за 4 цикла.

Сахароза является дисахаридом. Она состоит из глюкозы и фруктозы, которые находятся в равных количествах. Формула сахарозы, рис. 3.

При получении ГФС стоит задача: разорвать ацетальную связь С – О. В предлагаемом способе ин-

Табл. 1. Физико-химические показатели сиропа в зависимости от режима инверсии (Начальная концентрация СВ сиропа 65 %, расход лимонной кислоты 100 г/100 кг сахара).

Существующая технология					Предлагаемая технология				
Температура инверсии, °С	Продолжительность инверсии, ч	Массовая доля СВ, %	Массовая доля инвертного сахара, % СВ	Массовая доля ОМФ, мг/1000 Г	Температура инверсии, °С	Продолжительность инверсии, ч	Массовая доля СВ, %	Массовая доля инвертного сахара, % СВ	Массовая доля ОМФ, мг/1000 Г
50	0,5 1,0 2,0	65,2 65,5 65,7	1,2 3,8 4,5	10 20 30	50	0,5 1,0 2,0	66,7 67,2 69,3	32,0 33,1 35,5	50 60 70
80	0,5 1,0 2,0	66,1 66,4 66,7	45,0 50,5 55,0	70 80 90	80	0,5 1,0 2,0	105,2 105,2 105,2	100,0 100,0 100,0	70 90 100

Табл. 2. Физико-химические показатели инвертного сахарного сиропа, приготовленного по предлагаемой технологии в зависимости от температурных и временных режимов

Температура инверсии, °С	Продолжительность инверсии, мин	Массовая доля СВ, %	Массовая доля инвертного сахара, % СВ	Массовая доля ОМФ, мг/1000 Г	Массовая доля инвертного сахара, % СВ	Массовая доля ОМФ, мг/1000 Г	Количество циклов, 1 цикл/30 с/100 л сиропа
80	1	67,7	60,2	60,7	2		
	3	70,3	70,4	60,7	6		
	5	74,8	73,7	73,5	10		
	10	90,1	87,9	73,5	20		
	15	105,2	100,0	82,1	30		
90	1	79,8	77,7	73,5	2		
	2	105,2	100,0	82,1	4		
	3	105,2	100,0	82,1	6		
				0,06			

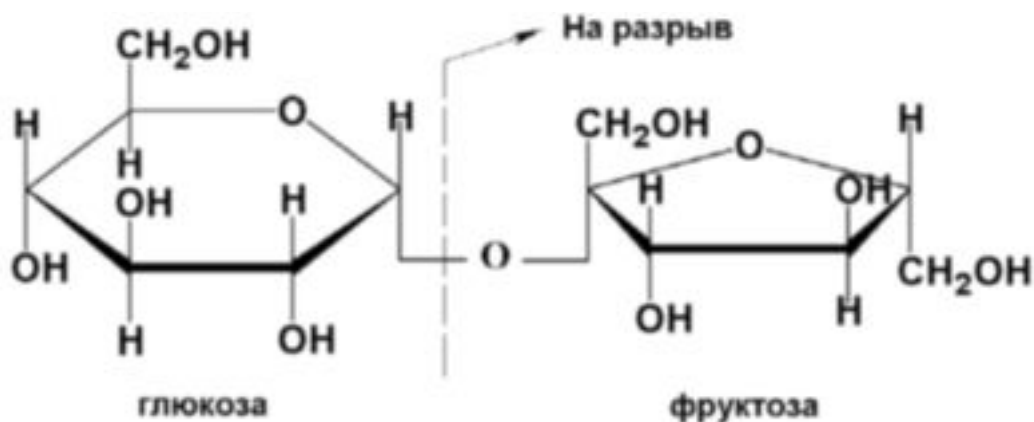


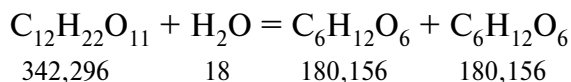
Рис. 3. Формула сахарозы.

версии происходит одновременно механическое и химическое воздействие. На участке цепи сахарозы возникают критические напряжения и происходит разрыв химических ковалентных связей. Разрыв в процессе механохимической деструкции происходит по наиболее слабым в энергетическом отношении связям. В случае механически активированного гидролиза распад цепей локализуется на гетеро связях и в этом отношении такие процессы не отличаются от соответствующих чисто химических.

Разрыв цепочки сахарозы, как правило, идет по ацетальным связям С – О. Однако при определенных условиях данный процесс может разрывать С – С связи. В результате могут отщепляться даже низкомолекулярные соединения, не являющиеся мономерами.

Лимонная кислота ослабляет С – О-связи в сахарозе и позволяет реализовать механически активированный химический процесс, в котором затрата механической энергии, естественно, не должна быть эквивалентна энергии связи.

Образовавшиеся в результате гидролиза сахарозы глюкоза и фруктоза имеют более высокую молекулярную массу, чем сама сахароза. Химическая реакция инверсии сахарозы заключается в следующем:



Из реакции видно, что полная инверсия сахарозы приводит к увеличению массы СВ в растворе в 1,0526 раза или на 5,26 %.

При приготовлении сиропов в производственных условиях это позволяет экономить 5,26 % сахара.

Выводы

Приготовление ГФС с применением механохимической деструкции позволяет:

1. сократить продолжительность процесса более чем в 10 раз;
2. проводить инверсию сахарозы на 100 %;
3. получать готовые сиропы, содержание ОМФ в которых не превышает нормы, установленной Минздравом;
4. экономить 5,26 % сахара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров А.М., Ананичев А.В. Глюкозно-фруктозный сироп – полноценный заменитель сахара // Журн. Всесоюз. хим. о-ва им. Д.М. Менделеева. – 1982. – Т. 27, вып. 6. – С. 76–80.
2. Ладур Т.А., Пучкова Т.С. Применение глюкозно-фруктозных сиропов в консервной промышленности // Консерв. и овощесушил. пром-ть – 1982. – № 2. – С. 18–20.
3. Головина Н.С., Мачурина Е.Г. и др. Получение глюкозно-фруктозного сиропа с применением иммобилизованной глюкозоизомеразы. "Имфрузим" // Сах. пром-ть – 1985. – № 3. – С. 42–45.
4. Снежкин Ю.Ф., Басок Б.И., Ободович А.Н. и др. Роторно-пульсационный аппарат, Декларационный патент на винахід. Україна (11) 64498 А (19) (UA) (51) 301F7/28, 16.02.2004. Бюл. № 2.
5. Зайцев А.И., Симонян Г.А., Поздняков А.А. О гигиеническом нормировании ОМФ в пищевых продуктах // Вопр. питания. – 1975. – № 1. – С. 12–14.

Получено 27.08.2005 г.