

Изобретение относится к технологиям производства сахара, а именно к способам получения диффузионного сока из сахарной свеклы.

Основной проблемой при производстве сахара из сахарной свеклы является необходимость очистки диффузионного сока известью и углекислым газом -  $\text{CO}_2$ . Производство извести путем обжига известняка требует высоких энергозатрат, к тому же сырьевые запасы высококачественного известняка в Украине истощены. Наряду с этим продукты сгорания при получении углекислого газа и известковые отходы наносят ущерб окружающей среде. Все это требует поиска новых перспективных технологий в производстве сахара.

Известен способ получения диффузионного сока из сахарной свеклы, в котором экстрагирование сахара из свекловичной стружки осуществляется водой при температуре  $70^\circ\text{C}$  (см. Силин П.М. Технология сахара. М., "Пищевая промышленность", 1967, С. 147-148).

Недостатком известного способа является его высокая энергоемкость и необходимость использования экологически "грязных" веществ, а также низкое качество получаемого продукта, что обусловлено переходом в диффузионный сок из стружки до 30% белка, более половины азотистых веществ и золы, около 0,1 % пектиновых веществ. Это снижает качество диффузионного сока и приводит к необходимости его очистки известью и углекислым газом.

Также известны способы получения диффузионного сока из сахарной свеклы без использования извести и двуокиси углерода. Так, например, известный способ получения диффузионного сока из сахарной свеклы, принятый в качестве прототипа, включает нагрев свекловичной стружки и экстрагирование из нее сахара в поле постоянного электрического тока (см. авт.свид. СССР № 854984, М.кл. С 13 D 1/00, опубл. 15.08.81 г.), Указанный способ позволяет получить достаточно чистый диффузионный сок, не требующий дополнительной обработки известью и углекислым газом.

Однако при реализации известного способа в условиях промышленных испытаний были отмечены такие недостатки, как относительно невысокая доброкачественность диффузионного сока и снижение в нем содержания сахара, связанные с потерями сахара в результате разложения сахарозы и переходом в диффузионный сок части несахаров. Причины, обуславливающие указанные недостатки, состоят в следующем. Предварительную обработку свекловичной стружки осуществляют путем ее нагрева опариванием острым паром. Такой способ нагрева не позволяет равномерно нагревать слои стружки без существенного перегрева внешних слоев обрабатываемого сырья, что ведет к активному переходу скоагулировавшихся белков в сок и ухудшению качества сока. При последующем пропускании электрического тока через клеточную ткань ее температура повышается и, под действием электрического поля и высокой температуры происходит денатурация белков. При этом в ранее перегретых клетках увеличивается гидролиз протопектина и происходит набухание полисахаридов оболочки клетки, снижающее ее проницаемость. В результате ухудшается процесс диффузии, что приводит к потерям сахара в диффузионном соке.

Задачей настоящего изобретения является разработка способа получения диффузионного сока из сахарной свеклы, обеспечивающего улучшение качества диффузионного сока, путем повышения его доброкачественности и увеличения содержания сахара.

Для решения поставленной задачи в известном способе получения диффузионного сока из сахарной свеклы, включающем нагрев свекловичной стружки и экстрагирование из нее сахара в поле постоянного тока, согласно изобретению, свекловичную стружку нагревают энергией СВЧ-поля до температуры  $45-70^\circ\text{C}$ , а экстрагирование ведут при напряженности электрического поля 2-12 В/см.

При нагреве свекловичной стружки энергией СВЧ-поля "происходит ее разогрев одновременно во всем объеме, ограниченном глубиной проникновения электромагнитной волны заданной частоты. При этом нагрев обеспечивается за счет релаксационных колебаний дипольных молекул воды, в результате чего вода нагревается и создает в вакуоли клетки избыточное давление, приводящее к разрушению оболочки вакуоли. В то же время первичная и вторичная оболочки клетки, состоящие из микрофибрилл гемицеллюлозы, пронизывающих матрикс, не подвергаются нагреву, в связи с особенностью их молекулярной структуры. Эта особенность заключается в том, что, поскольку цепи молекул полисахаридов матрикса имеют большую протяженность, они не подвержены релаксационным процессам в СВЧ-поле. Поэтому разрыв связей между гемицеллюлозой клеточного каркаса и пектиновыми веществами, а также между пектиновыми веществами и экстенсивном не происходит. Следовательно количество несахаров, переходящих в диффузионный сок после обработки измельченного растительного сырья энергией СВЧ-поля, уменьшается на 25-28% по сравнению с их количеством, перешедшим в диффузионный сок при известном способе нагрева свекловичной стружки горячим паром. Таким образом обеспечивается агрегация внутриклеточного содержимого клетки и удержание с коагулировавшихся несахаров внутри нее. Это позволяет получить диффузионный сок высокой доброкачественности при приложении электрического поля постоянного тока минимальной напряженности, начиная с 2 В/см. При этом наиболее эффективно плазмолиз происходит при воздействии энергии СВЧ-поля в интервале температур  $45-70^\circ\text{C}$ .

При нагреве свекловичной стружки энергией СВЧ-поля до температуры ниже  $45^\circ\text{C}$  процесс разрушения клеточных вакуолей не происходит ввиду незначительной величины избыточного давления, создаваемого в клетках обрабатываемого растительного сырья. При превышении температуры растительного сырья свыше  $70^\circ\text{C}$  происходит деструктивное изменение растительных клеток, приводящее к уменьшению выхода сахара и ухудшению качества диффузионного сока при экстрагировании сахарозы. Таким образом в результате обработки свекловичной стружки энергией СВЧ-поля в указанном интервале температур ( $45-70^\circ\text{C}$ ) обеспечивается полное разрушение клеточных вакуолей и соответственно возможность максимального удаления сахара из клеток растительного сырья. Это позволяет вести экстрагирование при напряженности электрического поля 2-12 В/см. Проведение процесса экстрагирования в поле постоянного тока напряженностью менее 2 В/см не позволяет обеспечить достаточную степень доброкачественности диффузионного сока, а превышение напряженности поля свыше 12 В/см приводит к нерациональному увеличению расхода электроэнергии при незначительном росте доброкачественности диффузионного сока.

Таким образом заявляемый способ получения диффузионного сока из сахарной

Однако при реализации известного способа в условиях промышленных испытаний были отмечены такие недостатки, как относительно невысокая доброкачественность диффузионного сока и снижение в нем содержания сахара, связанные с потерями сахара в результате разложения сахарозы и переходом в диффузионный сок части несахаров. Причины, обуславливающие указанные недостатки, состоят в следующем. Предварительную обработку свекловичной стружки осуществляют путем ее нагрева опариванием острым паром. Такой способ нагрева не позволяет равномерно нагревать слои стружки без существенного перегрева внешних слоев обрабатываемого сырья, что ведет к активному переходу скоагулировавшихся белков в сок и ухудшению качества сока. При последующем пропускании электрического тока через клеточную ткань ее температура повышается и, под действием электрического поля и высокой температуры происходит денатурация белков. При этом в ранее перегретых клетках увеличивается гидролиз протопектина и происходит набухание полисахаридов оболочки клетки, снижающее ее проницаемость. В результате ухудшается процесс диффузии, что приводит к потерям сахара в диффузионном соке.

Задачей настоящего изобретения является разработка способа получения диффузионного сока из сахарной свеклы, обеспечивающего улучшение качества диффузионного сока, путем повышения его добротности и увеличения содержания сахара.

Для решения поставленной задачи в известном способе получения диффузионного сока из сахарной свеклы, включающем нагрев свекловичной стружки и экстрагирование из нее сахара в поле постоянного тока, согласно изобретению, свекловичную стружку нагревают энергией СВЧ-поля до температуры 45-70°C, а экстрагирование ведут при напряженности электрического поля 2-12 В/см.

При нагреве свекловичной стружки энергией СВЧ-поля происходит ее разогрев одновременно во всем объеме, ограниченном глубиной проникновения электромагнитной волны заданной частоты. При этом нагрев обеспечивается за счет релаксационных колебаний дипольных молекул воды, в результате чего вода нагревается и создает в вакуоли клетки избыточное давление, приводящее к разрушению оболочки вакуоли. В то же время первичная и вторичная оболочки клетки, состоящие из микрофибрилл гемицеллюлозы, пронизывающих матрикс, не подвергаются нагреву, в связи с особенностью их молекулярной структуры. Эта особенность заключается в том, что, поскольку цепи молекул полисахаридов матрикса имеют большую протяженность, они не подвержены релаксационным процессам в СВЧ-поле. Поэтому разрыв связей между гемицеллюлозой клеточного каркаса и пектиновыми веществами, а также между пектиновыми веществами и экстенсивном не происходит. Следовательно количество несахаров, переходящих в диффузионный сок после обработки измельченного растительного сырья энергией СВЧ-поля, уменьшается на 25-28% по сравнению с их количеством, перешедшим в диффузионный сок при известном способе нагрева свекловичной стружки горячим паром. Таким образом обеспечивается агрегация внутриклеточного содержимого клетки и удерживание скоагулировавшихся несахаров внутри нее. Это позволяет получить диффузионный сок высокой доброкачественности при приложении электрического поля постоянного тока минимальной напряженности, начиная с 2 В/см. При этом наиболее эффективно плазмолиз происходит при воздействии энергии СВЧ-поля в интервале температур 45-70°C.

При нагреве свекловичной стружки энергией СВЧ-поля до температуры ниже 45°C процесс разрушения клеточных вакуолей не происходит ввиду незначительной величины избыточного давления, создаваемого в клетках обрабатываемого растительного сырья. При превышении температуры растительного сырья свыше 70°C происходит деструктивное изменение растительных клеток, приводящее к уменьшению выхода сахара и ухудшению качества диффузионного сока при экстрагировании сахарозы. Таким образом в результате обработки свекловичной стружки энергией СВЧ-поля в указанном интервале температур (45-70°C) обеспечивается полное разрушение клеточных вакуолей и соответственно возможность максимального удаления сахара из клеток растительного сырья. Это позволяет вести экстрагирование при напряженности электрического поля 2-12 В/см. Проведение процесса экстрагирования в поле постоянного тока напряженностью менее 2 В/см не позволяет обеспечить достаточную степень доброкачественности диффузионного сока, а превышение напряженности поля свыше 12 В/см приводит к нерациональному увеличению расхода электроэнергии при незначительном росте доброкачественности диффузионного сока.

Таким образом заявляемый способ получения диффузионного сока из сахарной свеклы, путем нагрева свекловичной стружки энергией СВЧ-поля до температуры 45-70°C с последующим экстрагированием из нее сахара в поле постоянного электрического тока напряженностью 2-12 В/см, позволяет повысить содержание сахара в получаемом диффузионном соке с одновременным увеличением его доброкачественности.

Для подтверждения достижения указанного технического эффекта была проведена серия экспериментов по получению диффузионного сока при указанных выше параметрах способа. Заявленный способ осуществляли с помощью установки, блок-схема которой изображена на чертеже.

Очищенную свеклу подавали на узел мойки 1, откуда ленточным транспортером 2 свеклу перемещали в бункер-накопитель 3. Из бункера 3 свекла поступала в свеклопезку 4 производительностью 200 кг/ч. Полученная свекловичная стружка подавалась в резонатор В, оборудованный устройством дозирования стружки и волноводной системой, обеспечивающей подвод энергии СВЧ-поля от генератора СВЧ мощностью 5 кВт. Далее нагретая свекловичная стружка поступала в электродиффузионный аппарат 6, обеспечивающий получение диффузионного сока. В электродиффузионном аппарате 6 осуществлялось экстрагирование сахарозы из свекловичной стружки в поле постоянного электрического тока напряженностью 2-12 В/см. Затем диффузионный сок отделяли от жома: жом отводился в накопитель (на блок-схеме не показан), а сок - в сокоотборник 7.

Очищенный диффузионный сок подавался в блок 8 доочистки и фильтрации сока, где в качестве адсорбента в сок вводили активированный уголь. Далее сок подавали в выпариватель 9, в котором сок сгущался до получения утфеля и начала процесса кристаллизации. Из выпаривателя 9 полученный утфель подавали на центрифугу 10 для отделения сиропа и получения сухого остатка в виде сахара-песка. Полученный сахар-песок направляли на окончательную просушку в блок 11, после обработки в котором получали кондиционный продукт.

Пример 1. Способ получения диффузионного сока из сахарной свеклы осуществляют следующим образом.

Сахарную свеклу с содержанием сахарозы 17,4% в количестве 200 кг подают на узел мойки и далее, через бункер-накопитель на свеклорезку, где производится измельчение свеклы до получения свекловичной стружки. Стружку подают в резонатор, в котором она подвергается нагреву энергией СВЧ-поля при мощности генератора 5 кВт в течение 60 мин. При этом обеспечивается равномерный нагрев стружки до температуры 55°C.

Далее нагретая свекловичная стружка поступает в электродиффузионный аппарат, в котором через стружку, находящуюся в поле постоянного электрического тока напряженностью 6 В/см, прокачивают воду, нагретую до температуры 60°C со скоростью 4,0 л/мин, что позволяет поддерживать заданный температурный режим процесса экстрагирования сахарозы из диффузионного сока в течение 50 мин.

В результате проведения процесса экстракции сахара из свекловичной стружки был получен диффузионный сок со следующими показателями:

- доброкачественность диффузионного сока, % -98,5;
- количество коллоидных веществ в % на 100 г сухих веществ - 0,86;
- содержание сахара в диффузионном соке, % -15,49.

Пример 2. Способ выполняют аналогично примеру 1.

Сахарную свеклу с содержанием сахарозы 17,4% в количестве 200 кг измельчают до получения свекловичной стружки. Стружку подают в резонатор, в котором она подвергается воздействию СВЧ-поля при мощности генератора 7,5 кВт в течение 60 мин. При этом обеспечивается нагрев стружки до 70°C. Далее обработанная свекловичная стружка поступает в электродиффузионный аппарата, в котором через стружку, находящуюся в поле постоянного электрического тока напряженностью 2 В/см, прокачивают воду, нагретую до температуры 70°C со скоростью 4 л/мин, что позволяет поддерживать заданную температуру процесса экстрагирования сахарозы из диффузионного сока в течение 50 мин. В результате проведения процесса экстракции сахара из свекловичной стружки был получен диффузионный сок со следующими показателями:

- доброкачественность сока, % -96,8%;
- количество коллоидных веществ на 100 г сухих веществ, % -1,05;
- содержание сахара в диффузионном соке, % -15,42.

Пример 3. Способ получения диффузионного сока осуществляют аналогично примеру 1.

Сахарную свеклу с содержанием сахара 17,4% в количестве 200 кг измельчают до получения свекловичной стружки. Стружку подают в резонатор, в котором она подвергается воздействию энергии СВЧ-поля при мощности генератора 5 кВт в течение 60 м.ин. При этом обеспечивается нагрев стружки до температуры 55°C. Далее обработанная свекловичная стружка поступает в электродиффузионный аппарат, в котором через стружку, находящуюся в поле постоянного электрического тока напряженностью 12 В/см прокачивают воду, нагретую до температуры 65°C со скоростью 4 л/мин, что позволяет поддерживать заданный температурный режим процесса экстрагирования сахарозы из диффузионного сока в течение 50 мин. В результате проведения процесса экстракции сахара из свекловичной стружки был получен диффузионный сок следующей характеристики:

- доброкачественность сока составила -98,6%;
- количество коллоидных веществ на 100 г сухих веществ - 0,74%;
- содержание сахара в диффузионном соке- 15,46%

Пример 4. Способ получения диффузионного сока из сахарной свеклы осуществляют следующим образом.

Сахарную свеклу с содержанием сахарозы 17,4% в количестве 200 кг подают на узел мойки и далее, через бункер-накопитель, на свеклорезку, где производится измельчение свеклы до получения свекловичной стружки. Стружку подают в резонатор, в котором она подвергается нагреву энергией СВЧ-поля при мощности генератора 5 кВт в течение 50 мин. При этом обеспечивается равномерный нагрев стружки до температуры 45°C.

Далее нагретая свекловичная стружка поступает в электродиффузионный аппарат, в котором через стружку, находящуюся в поле постоянного электрического тока, напряженностью 2 В/см прокачивают воду, нагретую до температуры 47,5°C со скоростью 4,0 л/мин, что позволяет поддерживать заданный температурный режим процесса экстрагирования сахарозы из диффузионного сока в течение 50 мин. В результате проведения процесса экстракции сахара из свекловичной стружки был получен диффузионный сок со следующими показателями:

- доброкачественность диффузионного сока. % - 98,4;
- количество коллоидных веществ в % на 100 г сухих веществ - 0.86;
- содержание сахара в соке, % - 15,1.

Пример 5-10. Выполняются в соответствии с технологическими операциями, указанными в примерах 1-4. Данные проведенных испытаний приведены в таблице 1.

Пример 11,12. С целью получения сопоставимых данных, характеризующихся объект, принятый в качестве прототипа, заявителем проведены дополнительные эксперименты по получению результатов от использования известного способа получения диффузионного сока в условиях промышленных испытаний. Испытания осуществляли на оборудовании и сырье заявителя, аналогичном используемому в примерах 1-10.

Полученные данные отражены в примерах 11,12, включенных в таблицу 1.

Пример 11. Сахарную свеклу с содержанием сахарозы 17,4% в количестве 200 кг измельчали до получения свекловичной стружки. Затем свекловичную стружку нагревали острым паром, после чего ее направляли в электродиффузионный аппарат, в котором через стружку, находящуюся в поле постоянного электрического тока напряженностью 30 В/см, прокачивали воду, нагретую до температуры 5°C со скоростью 4 л/мин, что позволило поддерживать заданную температуру процесса экстрагирования сахарозы из диффузионного сока в течение 60 мин, В результате проведения процесса экстрагирования сахара из

свекловичной стружки был получен диффузионный сок со следующими показателями:

- доброкачественность сока, % -89,1;
- количество коллоидных веществ на 100 г сухих веществ, % - 4,208;
- содержание сахара в соке, % -14,9.

Пример 12. Сахарную свеклу с содержанием сахарозы 17,4% в количестве 200 кг измельчали до получения свекловичной стружки. Затем нагретую паром стружку обрабатывали в электродиффузионном аппарате при напряженности электрического поля постоянного тока - 40 В/см. При этом температуру экстрагирования поддерживали на уровне 75°C за счет прокачивания нагретой воды в течение 50 мин. В результате экстрагирования свекловичной стружки получили диффузионный сок со следующими показателями:

- доброкачественность сока, % - 89,5;
- количество коллоидных веществ на 100 г сухих веществ -4,102%;
- содержание сахара в соке, % -15,2.

Некоторое снижение показателя доброкачественности сока (89,1-89,5%), отмеченное в произведенных испытаниях, согласно примера 11,12, по сравнению с показателем доброкачественности сока (98,0-98,6%), указанным в описании способа-прототипа по авт.свид. СССР № 854984, обусловлено тем, что результаты, достигнутые в объекте-прототипе, получены в лабораторных условиях на образце свекловичной стружки массой 1 кг. Соответственно небольшие размеры камеры электродиффузионного аппарата - 2х10х50 см, позволяют достичь максимально возможной равномерности пространственного распределения приложенного электрического поля.

В условиях реализации заявляемого способа, приближенных к промышленными мощностями - 200 кг/ч обрабатываемого сырья и более - пространственное распределение напряженности электрического поля имеет переменный градиент в объеме

камеры электродиффузионного аппарата. Это приводит к местным перегревам стружки и соответственно к заметному снижению доброкачественности получаемого диффузионного сока.

Как видно из примеров, приведенных в таблице 1, доброкачественность диффузионного сока и содержание в нем сахара при оптимальном сочетании мощности приложенного СВЧ-поля и величины напряженности поля постоянного электрического тока в предложенном способе выше, чем в способе-прототипе.

Таблица 1

№№ п/п	Наименование показателей	Предлагаемый способ										Изв. способ по а с № 854984 (результаты получены на оборудовании заявителя)	
		Прим 1	Прим 2	Прим 3	Прим 4	Прим 5	Прим 6	Прим 7	Прим 8	Прим 9	Прим 10	Пр 11	Пр 12
1	Температура свежковичной стружки при нагреве энергией СВЧ-поля, °С	55	70	55	45	40	75	55	55	55	60	-	-
2	Температура экстрагирования, °С	60	70	65	47,5	50	70	70	70	48,5	72,5	75	75
3	Напряженность, В/см	6	2	12	2	8	8	1,5	12,5	8	8	30	40
4	Удельная энергоемкость, кВтч/т сырья	30	27,6	39,6	21,4	29,8	38,2	31,2	40,4	33,2	35,9	32	36

Продолжение табл. 1

№№ п/п	Наименование показателей	Предлагаемый способ										Изв. способ по а с № 854984 (результаты получены на оборудовании заявителя)	
		Прим 1	Прим 2	Прим 3	Прим 4	Прим 5	Прим 6	Прим 7	Прим 8	Прим 9	Прим 10	Пр 11	Пр 12
5	Доброкачественность диффузионного сока, %	98,5	96,8	98,6	98,4	98,6	93,6	88,7	97,1	98,1	89,6	89,1	89,5
6	Количество коллоидных веществ на 100 г сухих веществ, %	0,86	1,05	0,74	0,86	0,71	2,49	4,28	0,62	0,59	3,87	4,208	4,102
7	Содержание сахара в жоме, %	0,22	0,21	0,22	0,31	0,36	0,21	0,27	0,21	0,24	0,20	0,31	0,30
8	Содержание сахара в диффузионном соке, %	15,49	14,42	15,46	15,10	14,7	15,52	15,41	15,45	15,28	15,43	14,90	15,2

