

Профессор Н.Г. Кульнева, аспирант А.И. Шматова
(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра технологии бродильных и сахаристых
производств, тел. (473) 255-37-32

Разработка технологии получения и очистки концентрированных сахарных растворов с использованием электрического поля

Исследовано влияние электрического поля на изменение качественных показателей продуктов при переработке тростникового сахара-сырца, определены оптимальные параметры процесса.

Influence of electric field on change of quality indicators of products when processing reed sugar raw is investigated, optimum parameters of process are determined.

Ключевые слова: тростниковый сахар-сырец, электроактивация, очищенная клеровка

В связи с сезонностью свеклосахарного производства и неполным обеспечением России сахаром, произведенным из отечественного сырья, некоторые заводы в межсезонный период перерабатывают тростниковый сахар-сырец.

Среди несахаров тростникового сахара-сырца около половины составляют вещества коллоидной дисперсности и высокомолекулярные соединения (ВКД и ВМС). Содержание их в сахаре-сырце колеблется в пределах 0,78-1,66 % и зависит от качества перерабатываемого тростника, технологической схемы, способа и продолжительности хранения. Данные несахара отрицательно влияют на технологические процессы, снижают выход и качество готовой продукции.

С целью повышения эффективности удаления несахаров из сахара-сырца, особенно высокомолекулярных, провели исследования по электроактивации воды или промыв, используемых для получения клеровки сахара-сырца.

Воду или промой с содержанием сухих веществ 10 %, предназначенные для приготовления клеровки, подвергали электрообработке в специальном устройстве [1] при определенных напряженности электрического поля и продолжительности процесса.

Сахар-сырец растворяли в горячей активированной воде (промыв) температурой 80 °С до массовой доли сухих веществ в растворе 55 %. Полученную клеровку нагревали до 80 °С, проводили основную дефекацию длительностью 10 мин при расходе оксида кальция 4,0 % к массе клеровки, карбонизировали

до pH 10,5-10,7, без промежуточного фильтрования обрабатывали оксидом кальция (0,4 % к массе клеровки) 5 мин, сатурировали до pH 9,0-9,5 и фильтровали. В полученном фильтрате определяли качественные показатели (таблица 1). Для сравнения получали и очищали клеровку по этой же схеме без электрообработки жидкости для клерования.

Экспериментально установлено, что с увеличением продолжительности электроактивации жидкости для клерования чистота очищенной клеровки плавно возрастает. При напряженности 10,3 В/см чистота выше, чем при 5,6 В/см.

Цветность, массовые доли солей кальция и редуцирующих веществ в очищенной клеровке, полученной при активации воды в течение одной минуты, меньше, чем очищенной по типовой схеме (цветность на 9-12 ед., массовая доля солей кальция на 0,01-0,02 %, массовая доля редуцирующих веществ на 0,01-0,06 %). Дальнейшее увеличение времени воздействия электрического поля незначительно влияет на изменение цветности.

Массовые доли солей кальция и редуцирующих веществ снижаются при увеличении длительности активации. Качественные показатели клеровки, полученной при обработке воды электрическим полем напряженностью 10,3 В/см лучше, чем при обработке напряженностью 5,6 В/см.

Повышение напряженности электрического поля или продолжительности обработки приводит к увеличению концентрации электрохимически активных реакционноспособных

веществ, благодаря чему большее количество различных групп несахаров осаждается в процессе известково-углекислотной очистки клеровки. При обработке воды электрическим током происходит образование ионов H^+ , используемых для электрохимических реакций, и

ионов OH^- , способствующих образованию соединений со значительной адсорбционной поверхностью, на которой адсорбируются в большом количестве различные несахара, в том числе высокомолекулярные соединения и вещества коллоидной дисперсности [2].

Т а б л и ц а 1

Влияние электроактивации жидкости для клерования сахара-сырца на качественные показатели очищенной клеровки

Напряженность поля, В/см	Продолжительность обработки, мин	Показатели очищенной клеровки			
		Чистота, %	Цветность усл. ед.	Мас. доля солей кальция, %	Мас. доля редуцирующих в-в, %
Типовая	-	97,3	22,32	0,063	0,078
5,6	1	97,6	13,20	0,055	0,070
5,6	3	97,7	12,34	0,052	0,065
5,6	5	97,7	12,12	0,048	0,062
10,3	1	97,6	10,38	0,046	0,026
10,3	3	97,7	10,25	0,033	0,020
10,3	5	97,7	10,21	0,030	0,019

Для выбора рациональных значений факторов, влияющих на процесс получения и очистки клеровки тростникового сахара-сырца с использованием электроактивированной воды для клерования, применяли математические методы планирования. Основными факторами, влияющими на обработку воды, выбрали: X_1 – напряженность электрического поля, В/см; X_2 – продолжительность обработки, мин. Выбор интервалов измерения факторов обусловлен технологическими условиями проведения процесса с учетом расхода электроэнергии (таблица 2).

Т а б л и ц а 2

Пределы измерения входных параметров при электроактивации растворителя для сахара-сырца

Условия планирования	Параметры процесса электроактивации	
	X_1 , В/см	X_2 , мин
Основной уровень	5,9	2,25
Интервал варьирования	3,1	1,25
Верхний уровень	9,0	3,50
Нижний уровень	2,8	1,00
Верхняя «звёздная точка»	10,3	4,00
Нижняя «звёздная точка»	1,5	0,50

Критериями оценки влияния данных факторов на показатели очищенной клеровки выбрали: Y_1 – чистоту, %; Y_2 – цветность, усл. ед.; Y_3 – массовую долю солей кальция, % и Y_4 – массовую долю редуцирующих веществ, %, в очищенной клеровке.

В результате статистической обработки экспериментальных данных получили уравнения:

$$Y_1 = 98,2304 + 0,0264X_1 + 0,0200X_2 - 0,1803X_1^2 + 0,0125X_1X_2 - 0,2478X_2^2;$$

$$Y_2 = 18,4689 + 0,6069X_1 - 9,9120X_2 + 2,8918X_1^2 + 3,8675X_1X_2 + 2,6467X_2^2;$$

$$Y_3 = 0,0450 - 0,0068X_1 + 0,0010X_2 + 0,0028X_1^2 + 0,0058X_1X_2 + 0,0003X_2^2;$$

$$Y_4 = 0,0930 + 0,0030X_1 + 0,0054X_2 - 0,0003X_1^2 + 0,0088X_1X_2 - 0,0103X_2^2.$$

Анализ этих уравнений позволяет выделить факторы, оказывающие наибольшее влияние на рассматриваемый процесс.

Чистота клеровки в наибольшей степени зависит от напряженности электрического поля и повышается с ее увеличением (рисунок 1).

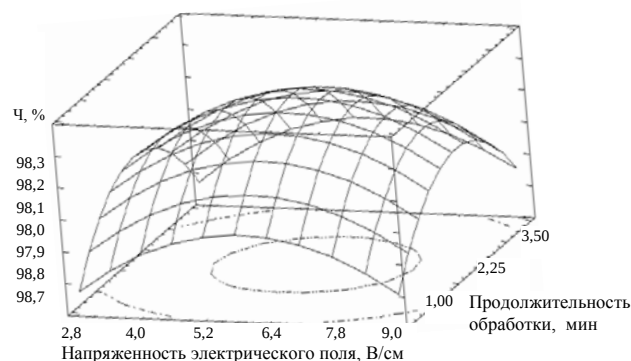


Рисунок 1 - Зависимость чистоты очищенной клеровки от напряженности электрического поля и продолжительности обработки

Максимум чистоты наблюдается для клеровки, полученной при обработке жидкости

для клерования электрическим полем напряженностью 6,5 В/см в течение 2,25 минут.

Цветность очищенной клеровки при повышении продолжительности обработки заметно снижается. Изменение напряженности электрического поля оказывает на цветность меньшее влияние.

Возрастание напряженности электрического поля приводит к снижению массовой доли солей кальция в очищенной клеровке. При низкой напряженности электрического поля с увеличением продолжительности обработки содержание кальциевых солей убывает, а при высокой – растет.

На содержание редуцирующих веществ также большое влияние оказывает продолжительность обработки: с уменьшением времени обработки содержание редуцирующих веществ снижается (рисунок 2).

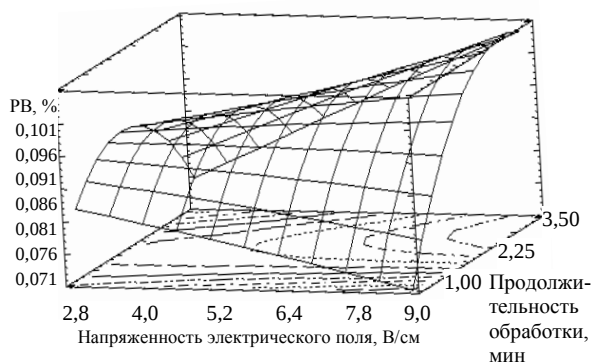


Рисунок 2 - Зависимость массовой доли редуцирующих веществ от напряженности электрического поля и продолжительности обработки

Установлено, что влияние напряженности электрического поля и длительности электрообработки на содержание редуцирующих веществ в очищенной клеровке имеет сложный характер. При малой продолжительности обработки с увеличением напряженности массовая доля редуцирующих веществ снижается. При продолжительности активации более двух минут с повышением напряженности электрического поля массовая доля редуцирующих веществ растет.

При подаче потенциала на электроды в жидкости возникает перераспределение концентраций электрохимически активного вещества, обусловленное воздействием электрического поля. Между электродом и жидкостью образуется двойной электрический слой, в пределах которого создаются высокие концентрации электрохимически активных реакционноспособных веществ. Далее в процессе очистки эти вещества взаимодействуют с несахарами клеровки. За счет электростатических сил происходит агрегирование разно-

именно заряженных частиц, интенсивное мицеллообразование и коагуляция взвешенных частиц и удаление их из клеровки, что улучшает качественные показатели клеровки [3].

На основании полученных экспериментальных данных построены номограммы по чистоте, цветности, массовой доле солей кальция и редуцирующих веществ (рисунок 3), пользуясь которыми можно достичь определенных качественных показателей очищенной клеровки при различном сочетании параметров электрохимической активации жидкости для клерования тростникового сахара-сырца.

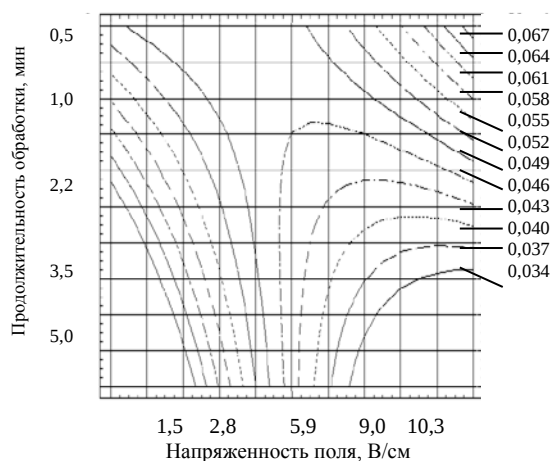


Рисунок 3 - Зависимость содержания солей кальция в клеровке от напряженности поля и продолжительности обработки

Учитывая, что напряженность электрического поля и продолжительность обработки неоднозначно влияют на качественные показатели клеровки, проведен выбор оптимальных условий процесса [2]. Задача оптимизации заключалась в поиске условий, при которых чистота очищенной клеровки максимальна, а цветность, массовые доли солей кальция и редуцирующих веществ в клеровке – минимальны. Анализируя полученные значения обобщенной функции желательности можно сделать вывод, что оптимальными условиями активации жидкости для клерования являются: напряженность электрического поля 5,9 В/см; продолжительность обработки 2,25 мин.

Кроме того, хорошие результаты могут быть получены при напряженности электрического поля 2,8 В/см и 9,0 В/см и, соответственно, продолжительности обработки 3,5 мин и 1 мин.

Проведена серия опытов по изучению влияния условий электрообработки промыв на качественные показатели очищенной клеровки сахара-сырца (таблица 3) [4].

При обработке промоя электрическим полем в течение одной минуты наблюдается повышение чистоты клеровки на 1,0-1,5 % по сравнению с клеровкой, полученной без элек-

трообработки. Увеличение времени обработки с напряженностью поля 10,3 В/см не приводит к изменению чистоты, а с напряженностью 5,6 В/см – к незначительному повышению.

Т а б л и ц а 3

Качественные показатели очищенной клеровки при различных параметрах электрообработки промоя перед клерованием сахара-сырца

Напряженность электрич. поля, В/см	Продолжительность обработки, мин	Показатели очищенной клеровки			
		Ч, %	Цв., усл. ед.	Мас. доля солей кальция, % СаО	Мас. доля редуцирующих в-в, %
-	-	95,9	22,9	0,074	0,215
5,6	1	97,2	20,5	0,069	0,210
5,6	3	97,4	14,9	0,063	0,205
10,3	1	97,5	11,4	0,051	0,161
10,3	3	97,5	11,2	0,061	0,165
Клеровка, приготовленная на аммиачной воде					
Типовая		97,1	15,7	0,035	0,202

Цветность клеровки, полученной с использованием промоя, обработанного электрическим полем напряженностью 5,6 В/см, снижается с ростом продолжительности обработки. Увеличение длительности электрического воздействия при напряженности 10,3 В/см на промой нецелесообразно с точки зрения снижения цветности.

Массовые доли солей кальция и редуцирующих веществ в очищенной клеровке, полученной при активации промоя в течение 1 мин меньше, чем полученной на промое без электроактивации (массовая доля солей кальция - на 0,01-0,02 %, массовая доля редуцирующих веществ - на 0,01-0,04 %). Дальнейшее увеличение времени обработки при напряженности поля 5,6 В/см практически не изменяет данные показатели. При обработке промоя электрическим полем напряженностью 10,3 В/см происходит незначительное повышение массовых долей солей кальция и редуцирующих веществ.

Для напряженности электрического поля 5,6 В/см увеличение времени активации промоя приводит к улучшению качественных показате-

лей клеровки. При обработке промоя электрическим полем напряженностью 10,3 В/см с повышением времени воздействия происходит снижение качественных показателей очищенной клеровки, что обусловлено деструктивными изменениями веществ в промое. Образовавшиеся продукты распада в процессе известково-углекислотной очистки образуют с сахарами сахара-сырца трудно осаждаемые комплексы.

Клеровка, приготовленная на аммиачной воде, позволяет получить очищенную клеровку с более высокими качественными показателями, чем при переработке клеровки, полученной на промое, что обусловлено поступлением меньшего количества сахаров на верстат завода.

Проведены исследования по электрообработке продуктов переработки сахара-сырца. На клеровку смеси тростникового сахара-сырца и желтого сахара третьей кристаллизации воздействовали электрическим полем в течение 30 и 60 с при температуре 60 °С и напряженности 2,7; 5,5; 6,6 В/см (таблица 4). Далее проводили известково-углекислотную очистку полученной клеровки по традиционной схеме.

Т а б л и ц а 4

Влияние электрообработки на показатели очищенной клеровки сахара-сырца

Продолжительность, с	Напряженность, В/см	Показатели очищенной клеровки		
		Чистота, %	Массовая доля редуцирующих веществ, %	Цветность, усл. ед.
30	2,7	99,3	0,079	11,78
	5,5	98,9	0,075	11,85
	6,6	98,9	0,069	12,53
60	2,7	98,9	0,090	13,15
	5,5	98,9	0,090	13,10
	6,6	98,8	0,094	12,69
-	-	98,1	0,107	15,40

Примечание. Чистота исходной клеровки 96,4 %, цветность 25,4 усл. ед.

Результаты исследования свидетельствуют, что под действием электрического поля улучшаются качественные показатели клеровки: чистота увеличивается по сравнению с очищенной по типовой схеме на 1 %, цветность снижается на 4 ед., массовая доля редуцирующих веществ - на 0,03 %. Рациональным является режим следующий электрообработки: температура 60 °С, продолжительность 30 с, напряжённость электрического поля 2,7 В/см.

Для установления рациональных условий получения и очистки клеровки проведен сравнительный анализ различных схем (рисунок 3-6):

- 1 – типовая;
- 2 – с электроактивацией аммиачной воды;
- 3 – с электроактивацией промоя;
- 4 – обработка электрическим полем клеровки.

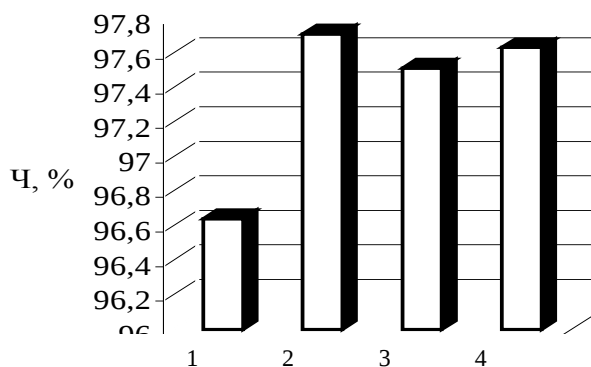


Рисунок 3 – Зависимость чистоты очищенной клеровки от способа получения

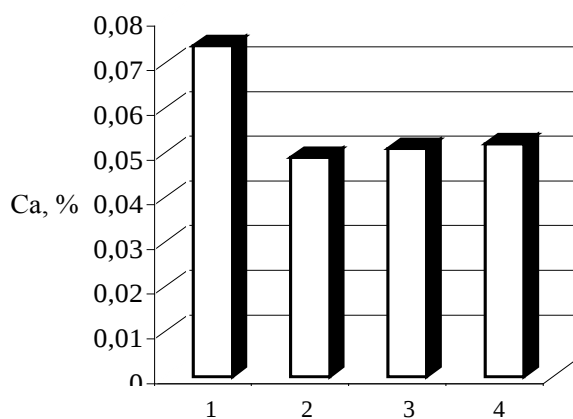


Рисунок 4 – Массовая доля солей кальция в очищенной клеровке в зависимости от способа получения клеровки

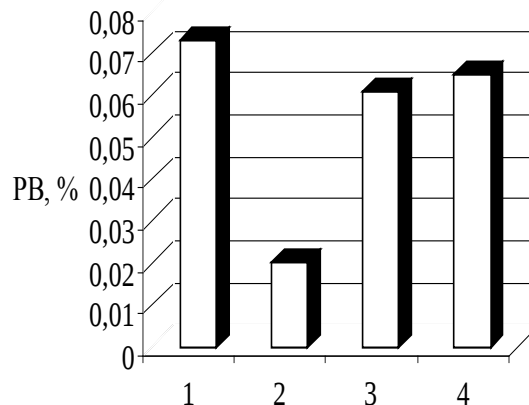


Рисунок 5 – Массовая доля редуцирующих веществ в очищенной клеровке

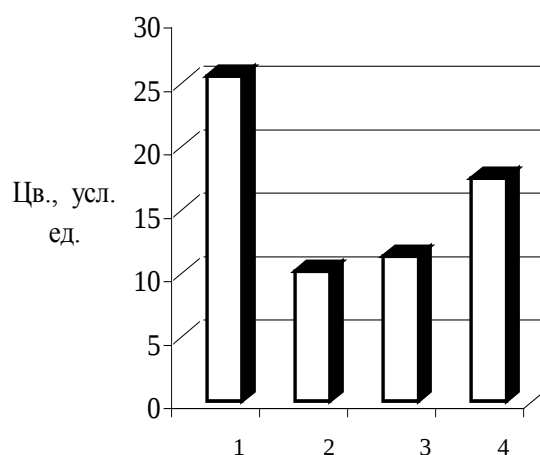


Рисунок 6 – Зависимость цветности очищенной клеровки от способа ее получения

Полученные результаты свидетельствуют, что лучшие качественные показатели имеет очищенная клеровка, полученная клерованием сахара-сырца электроактивированной аммиачной водой с последующей известково-углекислотной очисткой: чистота выше на 1-2 %, цветность ниже на 10-15 единиц, массовая доля солей кальция ниже на 0,001-0,005 %, массовая доля редуцирующих веществ ниже на 0,04-0,05 %.

Использование промоя при клеровании снижает потери сахарозы в производстве, но вводит в клеровку дополнительно несахара, которые плохо удаляются в процессе последующей известково-углекислотной очистки и являются причиной увеличения выхода мелассы и потерь в ней сахарозы. Это сводит к минимуму достигаемый эффект от использования промоя.

Проведение электрообработки промоя перед клерованием позволяет повысить эффективность дефеко saturации и получить очищенную клеровку с хорошими качественными показателями.

Можно подвергать электрообработке непосредственно клеровку, но в этом случае возрастают затраты электроэнергии в связи с увеличением объема и изменением физических характеристик обрабатываемой среды.

ЛИТЕРАТУРА

1 Пат. RU 2183676 Российская Федерация, МПК⁷ C13D 3/18 C02F 1/46 Устройство для электрохимической очистки жидкости [Текст] / Н.Г. Кульнева; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ВГТА». - № 2000127951; заявл. 08.11.2000; опубл. 20.06.2002, Бюл. № 17.

2 Голыбин, В. А. Электротехнологии в производстве сахара [Текст]: монография / В.А. Голыбин, Н.Г. Кульнева, В.А. Федорук. – Воронеж: ВГТА, 2007 - 236 с.

3 Пат. RU 2260623 Российская Федерация, МПК⁷ C13F 1/00 C13D 3/02 Способ получения клеровки сахара [Текст] / В.А. Голыбин, Н.Г. Кульнева, В.А. Федорук; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ВГТА». - № 2003132580/13; заявл. 06.11.2003; опубл. 20.09.2005, Бюл. № 26.

4 Голыбин, В.А. Использование электрического поля для очистки производственных сахар

содержащих растворов [Текст] / В.А. Голыбин, Н.Г. Кульнева, В.А. Федорук // Известия вузов. Пищевая технология. - 2003. - № 5-6. – С. 94-96.

REFERENCES

1 Pat . RU 2183676 Russian Federation MPK7 C13D 3/18 S02F 1/46 Device for electrochemical cleaning liquid [Text] / N.G. Kulneva; applicant and patentee HPE "VSTA". - № 2000127951; appl. 08.11.2000, publ. 20.06.2002, Bull. № 17.

2 Golybin, V.A. Electrotechnologies in sugar production [Text]: monograph / V.A. Golybin, N.G. Kulneva, V.A. Fedoruk. - Voronezh: VSTA, 2007. - 236 p.

3 Pat. RU 2260623 Russian Federation MPK7 C13F 1/00 S13D 3/02 A method for producing sugar klerovka [Text] / V.A. Golybin, N.G. Kulneva, V.A. Fedoruk; applicant and patentee HPE "VSTA". - № 2003132580 /13; appl. 06.11.2003, publ. 20.09.2005, Bull. № 26.

4 Golybin, V.A. Using electric fields for the production of sugar-containing cleaning solutions [Text] / V.A. Golybin, N.G. Kulneva, V.A. Fedoruk // Proceedings of the universities. Food technology. - 2003. - № 5-6. - P. 94-96.