

УДК 664.1.039

Профессор В. А. Голыбин, доцент В. А. Федорук,  
(Воронеж. ун-т инж. технол.) кафедра технологии сахаристых веществ,  
тел. (473) 255-07-51  
директор А. А. Ткачев  
(ОАО «Эртильский сахарный завод»), тел. (47345) 210-40

## Повышение эффективности использования гидроксида кальция для очистки диффузионного сока

Исследовано влияние факторов известково-углекислотной очистки (ИУО) на эффективность включения в схему промежуточной первой ступени сатурации (1А) с отделением после нее осадка путем фильтрования.

Influence of factors izvestkovo-uglekislotnoj clearings (ИУО) on effektivnost inclusions in the scheme of an intermediate first step сатурации (1А) with department-niem after it a deposit by filtering is investigated.

*Ключевые слова:* гидроксид кальция, двухступенчатая сатурация, очистка диффузионного сока.

В лабораторных условиях осуществляли очистку по схеме, которая включала теплую прогрессивную предварительную дефекацию (ППД) с возвратом суспензии сока II сатурации, теплую основную дефекацию (ОД) (60 °С, 30 мин), нагревание до 85 °С в течение 9 мин, 1А сатурацию ( $pH_{20}$  11,0±0,1), фильтрование, горячую ОД при 85 °С, 1Б сатурацию при  $pH_{20}$  11,0±0,1, фильтрование, нагревание до 92 °С и II сатурацию при  $pH_{20}$  9,3...9,5, фильтрование.

Диффузионный сок с чистотой (Ч) 82,5 %, содержанием сухих веществ (СВ) 12,0 %, массовой долей редуцирующих веществ (РВ) 0,19 % к массе сока,  $pH_{20}$  5,9. Суспензию сока II сатурации получали путем известковой обработки фильтрата сока I сатурации, сатурирования углекислым газом до  $pH_{20}$  9,3 и седиментации частиц осадка карбоната кальция в течение 15 мин. Общий расход СаО – 100 % к массе несахаров диффузионного сока, в том числе на ППД – 0,3 и 0,2 % – на II сатурацию, остаток распределялся между ступенями ОД. В сатурационных соках определялись следующие показатели: степень распада РВ, чистота и оптическая плотность (цветность) фильтрованных соков, фильтрационные свойства, содержание солей кальция в очищенном соке, по которым рассчитывались величины эффектов очистки и адсорбции (табл. 1).

Анализ данных табл. 1 позволяет сделать следующие выводы. Малый расход СаО на теплую ступень ОД (вар. I) не позволяет достичь высокой степени распада РВ, цветность сока при этом самая высокая. Сочетание факторов дефицита адсорбента и повышенной цветности повлияли на снижение эффекта обесцвечивания в процессе 1А сатурации. Фильтрационные показатели сока 1А самые низкие при малом вводе гидроксида кальция (вар. I и II) на теплую ОД. Горячая ступень ОД увеличивает степень распада РВ до значений 93,8...96,0 %, однако даже повышенные доли вводимого на горячую дефекацию СаО (70 и 60 %) не позволили заметно снизить цветность очищенного сока. Проведение 1Б сатурации с высокими расходами реагента позволило существенно уменьшить цветность, и все же она остается самой высокой в тех опытах, где был минимальный его ввод (30 и 40 %) перед 1А сатурацией. Показатели фильтрования сока 1Б сатурации высокие – в 1,5...2 раза лучше, чем для сока 1А сатурации. Цветность сока II сатурации минимальная при соотношении расходов СаО на ступени дефекации 60 : 40, величина эффекта очистки максимальная при соотношении 70 : 30.

Влияние распределения СаО на показатели соков

| Показатели                  | Распределение СаО по ступеням ОД, % |               |                |               |              | Типовая схема |
|-----------------------------|-------------------------------------|---------------|----------------|---------------|--------------|---------------|
|                             | I<br>30 : 70                        | II<br>40 : 60 | III<br>50 : 50 | IV<br>60 : 40 | V<br>70 : 30 |               |
| 1                           | 2                                   | 3             | 4              | 5             | 6            | 7             |
| <b>Сок после теплой ОД</b>  |                                     |               |                |               |              |               |
| Степень распада РВ, %       | 69,8                                | 76,4          | 81,3           | 83,5          | 84,8         | -             |
| Цв., ед./100 СВ             | 3,12                                | 2,95          | 2,81           | 2,74          | 2,70         | -             |
| <b>Сок 1А сатурации</b>     |                                     |               |                |               |              |               |
| Цв., ед./100 СВ             | 1,77                                | 1,59          | 1,47           | 1,42          | 1,39         | -             |
| Эффект адсорбции, %         | 43,4                                | 46,1          | 47,7           | 48,2          | 48,5         | -             |
| Фк, с/см <sup>2</sup>       | 6,3                                 | 5,1           | 4,0            | 3,6           | 3,3          | -             |
| <b>Сок после горячей ОД</b> |                                     |               |                |               |              |               |
| Степень распада РВ, %       | 93,8                                | 94,6          | 95,2           | 95,5          | 96,0         | 95,4          |
| Цв., ед./100 СВ             | 2,96                                | 2,68          | 2,32           | 2,27          | 2,19         | 5,02          |
| <b>Сок 1Б сатурации</b>     |                                     |               |                |               |              |               |
| Цв., ед./100 СВ             | 1,44                                | 1,35          | 1,28           | 1,25          | 1,21         | 1,98          |
| Эффект адсорбции, %         | 51,4                                | 49,6          | 44,8           | 44,9          | 44,7         | 60,6          |
| Фк, с/см <sup>2</sup>       | 2,2                                 | 2,4           | 2,6            | 2,7           | 2,8          | 3,6           |
| <b>Сок II сатурации</b>     |                                     |               |                |               |              |               |
| Цв., ед./100 СВ             | 1,48                                | 1,41          | 1,33           | 1,30          | 1,30         | 1,84          |
| Соли кальция, %/100 СВ      | 0,48                                | 0,49          | 0,50           | 0,50          | 0,51         | 0,59          |
| Ч, %                        | 87,6                                | 87,9          | 88,2           | 88,4          | 88,5         | 87,1          |
| Эффект очистки, %           | 33,2                                | 35,1          | 36,9           | 38,1          | 38,4         | 30,1          |

Для выбора оптимального распределения СаО по ступеням ОД использовали метод обобщенной функции желательности [1]. Для оценки эффективности приняты показатели: Фк сока 1А сатурации, цветности фильтрованных сатурационных соков 1Б и II сатурации, общий эффект очистки и массовая доля солей кальция

в очищенном соке. Обобщенную функцию желательности определяли по формуле

$$D = \sqrt[5]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3 \cdot d_4 \cdot d_5},$$

где  $d_1$ - $d_5$  – частные функции желательности.

Для нахождения функций  $d$  выбраны значения  $Y_1$ - $Y_5$  (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Преобразование в безразмерную шкалу

| Показатели            | Y <sub>1</sub> , Фк сока 1А сатурации |     | Y <sub>2</sub> , Цв. 1Б сатурации |      | Y <sub>3</sub> , Цв. II сатурации |      | Y <sub>4</sub> , эффект очистки |      | Y <sub>5</sub> , соли кальция |      |
|-----------------------|---------------------------------------|-----|-----------------------------------|------|-----------------------------------|------|---------------------------------|------|-------------------------------|------|
| Величины параметров   | 3,3                                   | 6,3 | 1,21                              | 1,44 | 1,30                              | 1,48 | 38,4                            | 33,2 | 0,48                          | 0,51 |
| Значения $d$ по шкале | 0,8                                   | 0,2 | 0,8                               | 0,2  | 0,8                               | 0,2  | 0,8                             | 0,2  | 0,8                           | 0,2  |

Частные и обобщенная функции желательности имеют вид

$$\begin{aligned} d_1 &= \exp[-\exp(3,678 - 0,657 Y_1)], \\ d_2 &= \exp[-\exp(11,874 - 8,565 Y_2)], \\ d_3 &= \exp[-\exp(15,738 - 10,944 Y_3)], \\ d_4 &= \exp[-\exp(-13,044 + 0,379 Y_4)], \\ d_5 &= \exp[-\exp(33,030 - 65,667 Y_5)], \\ D &= \exp\{-1/5[\exp(3,678 - 0,657 Y_1) + \\ &+ \exp(11,874 - 8,565 Y_2) + \exp(15,738 - 10,944 Y_3) + \exp(-13,044 + 0,379 Y_4) + \\ &+ \exp(33,030 - 65,667 Y_5)]\}. \end{aligned}$$

Для всех вариантов распределения СаО были рассчитаны частные и обобщенная функции желательности (табл. 3).

Оптимальным по величине  $D = 0,688$  следует считать вариант IV – 60 : 40. Если исключить фактор массовой доли солей кальция, так как по всем вариантам их разница незначительна, то лучшим следует считать распределение по варианту V – 70 : 30 ( $D = 0,800$ ).

Полученные результаты подтверждают наши заключения о целесообразности максимального разложения несахаров на начальном этапе ИУО в присутствии обоснованного избытка СаО [2]. Следовательно, функции 1А сатурации заключаются в адсорбции карбоната кальция не только продуктов конверсии РВ, но и агрегатов несахаров, скоагулированных

в процессе ППД. В случае недостаточного их удаления на 1А сатурации (при расходе на первой ступени ОД 30 % СаО) последующие

операции очистки даже в присутствии избытка реагента не могут улучшить показатели очищенного сока.

Т а б л и ц а 3

Частные и обобщенная функции желательности

| Варианты распределения СаО, % | Частные функции желательности $d$ |       |       |       |       | Обобщенная функция $D$ |
|-------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|------------------------|
|                               | $d_1$                             | $d_2$ | $d_3$ | $d_4$ | $d_5$ |                        |
| 30:70                         | 0,200                             | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,800 | 0,264                  |
| 40:60                         | 0,327                             | 0,481 | 0,480 | 0,463 | 0,653 | 0,470                  |
| 50:50                         | 0,705                             | 0,669 | 0,735 | 0,677 | 0,440 | 0,635                  |
| 60:40                         | 0,764                             | 0,733 | 0,800 | 0,780 | 0,440 | 0,688                  |
| 70:30                         | 0,800                             | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,200 | 0,606                  |

В результате проведения экспериментов и обобщения экспериментальных данных обоснована схема известково-углекислотной очистки диффузионного сока, включающая две ступени I сатурации (рисунок). Важное преимущество предлагаемой схемы – практическая возможность возврата на ППД достаточно чистых частиц карбоната кальция в виде сгущенной суспензии сока 1Б сатурации. Известно, что чем чище поверхность карбоната кальция, тем большая эффективность агрегирования несахаров в процессе ППД [3].

В предлагаемом нами варианте скоагулированные на первом этапе очистки (на ППД и теплой ОД) несахара не подвергаются длительному высокотемпературному воздействию, что исключает пептизацию и способствует их эффективной адсорбции в процессе 1А сатурации. Следующий этап известково-углекислотной очистки (горячая ступень ОД) не может вызвать ухудшения качества сока, так как в сатурационном соке будут минимальные остатки РВ и фрагментов высокомолекулярных соединений (ВМС). Адсорбция в процессе 1Б сатурации при оптимальной щелочности позволяет удалить значительную часть образовавшихся красящих веществ с минимальной долей продуктов деструкции ВМС в адсорбционном слое частиц карбоната кальция. Возврат на ППД карбонатной суспензии с этой стадии сатурации позволит снизить переход адсорбированных несахаров при пересатуровании свободными кислотами диффузионного сока и повысить эффективность известковой очистки. Вводимый на горячую ступень основной дефекации гидроксид кальция обеспечит получение необходимой массы суспензии карбоната кальция для поддержания общей щелочности преддефекованного сока 1,0...1,1 % СаО и последующее нормативное фильтрование сока 1А сатурации.

Процесс II сатурации в предлагаемом нами способе осуществляется без добавления гидроксида кальция, вместо него целесообразно вводить перед карбонизацией суспензию свежеприготовленного чистого карбоната кальция (расход 0,25 % СаО). Ранее нами показаны значительные возможности адсорбционной очистки при добавлении в нечистые сахарные растворы микрочастиц  $\text{CaCO}_3$  [2]. Целесообразно вводить карбонатную суспензию с  $\text{pH}_{20}$  11,0 – при этом достигается высокий эффект адсорбции красящих веществ. Обработка фильтрованного сока I сатурации гидроксидом кальция при высокой температуре в отличие от добавления суспензии карбоната кальция вызывает частичный переход в раствор с поверхности частиц осадка красящих веществ, особенно заметный при неудовлетворительной работе станции фильтрования сока после 1Б сатурации. Пептизация несахаров с поверхности частиц осадка в щелочной среде также является одной из причин сравнительно низкого эффекта использования гидроксида кальция в производственных условиях при его вводе в фильтрованный сок I сатурации.

Невысокие эффекты очистки и адсорбции по типовой схеме очистки диффузионного сока обусловлены быстрым снижением pH обработанного известью фильтрованного сока I при последующей II сатурации от 11,8...12,2 до 9,5. При таком режиме область pH 10,8...11,0 в процессе карбонизации не фиксируется, а этот интервал является оптимальным для адсорбции красящих веществ [2].

Ввод частиц чистого карбоната кальция перед II сатурацией не будет вызывать в сатурационном соке увеличения коэффициента пересыщения кальциевых солей, что позволит снизить содержание солей жесткости и интенсивность накипеобразования при выпаривании очищенного сока.

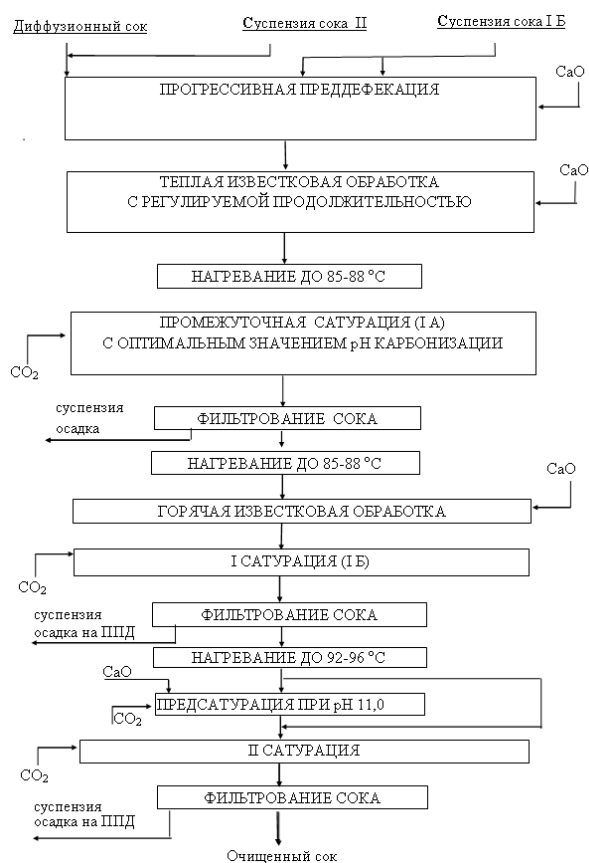


Рисунок. Многовариантная схема очистки диффузионного сока

Преимущества ввода чистых частиц  $\text{CaCO}_3$  могут быть наиболее ощутимыми лишь с разделенными процессами теплой и горячей ступеней ОД и промежуточной IА сатурацией. В этих условиях практически снижается вероятность поступления таких несахаров, как РВ, на II сатурацию или дефекацию перед ней. Если же несахара, ответственные за образование красящих веществ, не были подвергнуты достаточной конверсии в условиях основной дефекации, то для более эффективного использования карбоната кальция в качестве адсорбента необходимо перед II сатурацией предусмотреть предварительную карбонизацию гидроксида кальция при достаточно высокой щелочности, соответствующей  $\text{pH}_{20}$  10,8...11,0. Завершающая карбонизация в аппарате II сатурации при  $\text{pH}$  9,3...9,5 не будет существенно снижать эффект предыдущей адсорбционной очистки. Преимущества работы по схеме с двухступенчатой сатурацией заключаются в исключении попадания в сок II сатурации частиц коагулята преддефектованного сока, несущего потенциальный источник перехода в

сок несахаров, вызывающих ухудшение качества очищенного сока.

В сравнении с типовой схемой очистки диффузионного сока предлагаемый нами вариант двухступенчатой I сатурации с промежуточным фильтрованием позволит снизить цветность очищенного сока на 28...32 %, массовую долю солей кальция на 14...16 %, повысить эффект очистки на 8 % (абс.), что приведет к существенному увеличению выхода товарной продукции стандартного качества. По этой схеме осуществимы варианты работы станции дефекосатурационной очистки в зависимости от качества и состава несахаров перерабатываемого сырья путем различной дозировки гидроксида кальция на ступени ОД, регулируемых режимов щелочности и  $\text{pH}$  IА и IБ сатураций, что позволит получить максимальный эффект использования гидроксида кальция с последующим снижением на 20-23 % его комплексного расхода по заводу.

Теоретически обоснованный и экспериментально подтвержденный вариант очистки диффузионного сока может быть реализован в производственных условиях в отличие от ранее предлагаемых способов, в которых главной и трудноразрешимой задачей является именно эффективное удаление из очищаемого сока скоагулированных и осажденных несахаров [4, 5].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Грачев, Ю. П. Математические методы планирования экспериментов: [Текст] учеб. пособие для вузов / Ю. П. Грачев, Ю. М. Пласин. - М.: ДеЛи принт, 2005. - 296 с.
2. Голыбин, В. А. Совершенствование физико-химической очистки сахарных растворов [Текст] / В. А. Голыбин. - Воронеж, 1999. - 128 с.
3. Ровинский, А. Д. Схема очистки диффузионного сока: современный подход [Текст] / А. Д. Ровинский, С. П. Олянская // Сахар. - 2007. - № 1. - С. 50-53.
4. Решетова, Р. С. Известково-углекислотная очистка диффузионного сока низкого технологического качества [Текст] / Р. С. Решетова, Е. А. Рощенко // Сахар. - 2007. - № 1. - С. 41-42.
5. Очистка диффузионного сока с отделением осадка несахаров до основной дефекации [Текст] / Ю. Д. Головняк, Н. И. Жаринов, В. З. Семененко [и др.] // Сахарная пром-ть. - 1994. - № 6. - С. 9-13.