

** – $G, \rho, \mu, \sigma, C, \epsilon, \lambda, T, v, \tau$ – відповідно, маса або витрати, густина, в'язкість, поверхневий натяг, концентрація компоненту, теплоємність, теплопровідність, температура, швидкість, час.

*** – Символи: Δ (без індексів) – різниця відповідних потенціалів; Δ (з нижніми індексами) – додатково набута системою різниця відповідних потенціалів.

Список літератури

1. Кафаров, В. В. Системный анализ процессов химической технологии. Основы стратегии [Текст] / В. В. Кафаров, И. Н. Дорохов. – М. : Наука, 1976. – 500 с.

2. Бурдо, О. Г. Прикладное моделирование процессов переноса в технологических системах [Текст] : учебник / О. Г. Бурдо, Л. Г. Калитин. – Одесса : Друк, 2008. – 348 с.

3. Остапчук, М. В. Математичне моделювання на ЕОМ [Текст] : підручник / М. В. Остапчук, Г. М. Станкевич. – Одеса : Друк, 2006. – 313 с.

4. Федоткин, И. М. Математическое моделирование технологических процессов методом аналогизации [Текст] : учебное пособие / И. М. Федоткин, В. В. Боровский. – Винница : Вінниця, 2002. – 377 с.

5. Лобода, П. П. Исследование гидродинамики виброректраторов [Текст] / П. П. Лобода, В. Л. Завьялов // Пищевая промышленность. – 1987. – Вып. 33. – С. 28–31.

Отримано 30.09.2009. ХДУХТ, Харків.

© Т.Г. Мисюра, В.Л. Зав'ялов, В.С. Бодров, Н.В. Попова, 2009.

УДК 664.1.048

Г.В. Тягун, (СКБ «Цукор», Смела)

К.О. Штангеев, канд. техн. наук (УкрНИИ сахарной промышленности, Киев)

Д.Г. Грищенко, (НУПТ, Киев)

РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ПРЕБЫВАНИЯ РАСТВОРОВ И ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ВЫПАРНОЙ УСТАНОВКЕ САХАРНОГО ЗАВОДА

Проведено варіантні розрахунки з використанням розробленої методики розрахунку часу перебування розчину у випарній установці, визначено величини розкладання цукрози і зміну технологічних параметрів, з яких слідує, що на абсолютну величину втрат цукрози від термічного розкладання значно впливає величина рН соку.

Проведены вариантыные расчеты с использованием разработанной методики расчета времени пребывания раствора в выпарной установке, определены величины разложения сахарозы и изменения технологических параметров, из которых следует, что на абсолютную величину потерь сахарозы от термического разложения весьма существенно влияет величина рН сока.

Variant calculations with the use of the developed method of calculating duration of keeping solution in the evaporating installation are held. The size of sucrose decomposition and changes of technological parameters, which demonstrate sufficient influence of the juice pH on absolute amount of sucrose losses from thermal decay, are determined.

Постановка проблемы в общем виде. Сахарные растворы являются термически нестойкими. Поэтому при их сгущении в выпарной установке происходит разложение части сахарозы с образованием, прежде всего красящих веществ, которые могут весьма негативно повлиять на качественные показатели получаемого сахара.

Анализ последних исследований и публикаций. Уровень потерь сахара при сгущении раствора в выпарной установке есть одним из основных параметров, которые определяют режимы ее работы и должен учитываться как при создании конструкций выпарных аппаратов, так и при проектировании выпарных установок. В ряде работ [1;2] использовался метод расчета времени пребывания раствора в выпарной установке на основе величины средней продолжительности пребывания сахарного раствора в аппарате. При этом средняя продолжительность пребывания рассматривалась как величина, которая определяется по зависимости:

$$\tau^- = \frac{v}{V}, \quad (1)$$

где v – объем раствора в аппарате, м^3 ; V – объемный расход раствора, $\text{м}^3/\text{с}$ ($\text{м}^3/\text{с}$).

Такой способ представления продолжительности процессов в технологическом оборудовании широко применяется в расчетах технологических процессов сахарного производства, химической технологии и других областях. Но в действительности время пребывания отдельных микрообъемов раствора в аппаратах имеет сложную зависимость от времени, конструкции оборудования и режимных параметров его работы.

Если при определении среднего времени пребывания раствора в выпарном аппарате применять объемный расход раствора на входе, для сахарного завода производительностью 2700 тонн переработки

свеклы в сутки при среднеэксплуатационных параметрах работы ошибка может достигать 45% сравнительно с фактической продолжительностью пребывания (табл. 1)

Таблица 1 – Расчет погрешности от применения расхода сока на входе

Корпус	Расход раствора на входе, м ³ /мин.	Расход раствора на выходе, м ³ /мин.	Средняя продолжительность по расходу на входе, мин.	Фактическая средняя продолжительность, мин.	Погрешность, %
1	2,64	1,81	4,50	6,56	31,41
2	1,81	1,02	12,86	22,95	43,96
3	1,02	0,55	14,95	27,39	45,40
4	0,55	0,41	21,31	28,58	25,42
5	0,41	0,40	13,48	13,96	3,45

Цель и задания статьи. Провести расчеты с использованием разработанной методике расчета времени пребывания раствора в выпарной установке, определить величины разложения сахарозы и измерения технологических параметров.

Изложение основного материала исследования. Величина термического разложения сахара зависит от продолжительности термического воздействия, уровня температур и pH среды. Проведенные исследования по величине разложения позволили установить ее функциональную зависимость [3]:

$$x = a(1 - e^{-K\tau}), \quad (2)$$

где x – масса сахарозы, которая разложилась, в отношении к начальной массе сахарозы; a – начальное количество сахарозы в растворе; K – константа скорости реакции гидролиза сахарозы, мин⁻¹; τ – продолжительность реакции, мин.

$$K=10 \left(16,806 - \frac{56667}{T} - pH + 10 \right) \left(20,1676 - \frac{906469}{T} - 0,017053T + 0,57 pH \right) \quad (3)$$

Поскольку продолжительность пребывания разных порций раствора разная, а функциональные зависимости (2) и (3) нелинейные, применит величины средней продолжительности пребывания раствора по зависимости (1), в общем случае может приводить к значительным погрешностям (рис. 1).

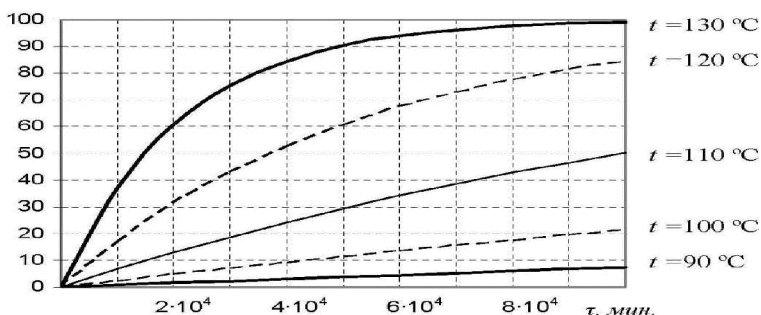


Рисунок 1 – Степень разложения сахарозы в зависимости от продолжительности и температуры процесса

Для условий работы выпарной установки сахарного завода, продолжительность пребывания сахарного раствора в отдельных выпарных аппаратах с естественной циркуляцией ограничена пределами средними временами пребывания до 30-40 мин. (табл.1), а температурный диапазон рабочих процессов составляет 80...130° С.

Результаты расчета степени разложения сахарозы в растворе при указанном диапазоне пребывания раствора показывают, что даже при температуре процесса 130° С и его продолжительности до 50 мин. зависимость степени разложения сахарозы имеет практически линейный характер от продолжительности процесса.

Это говорит о возможности применения в этом диапазоне линейных функциональных зависимостей.

К наиболее распространенным в практике и таким, которые могут быть использованы при описании функции распределения времени пребывания моделям могут быть отнесены [4;5]: модель идеального перемешивания, модель каскада реакторов идеального смешивания и диффузная модель, основанная на логарифмически-нормальном законе распределения [6].

Продолжительность пребывания раствора в аппарате идеального смешивания и каскаде аппаратов идеального смешивания (до 10 одинаковых) в зависимости от безразмерного времени пребывания представлена на рис. 2. Расчет выполнялся с применением зависимости:

$$f(\tau) = \frac{N^N}{(N-1)!} \cdot \theta^{N-1} \cdot \exp(-N \cdot \theta). \quad (4)$$

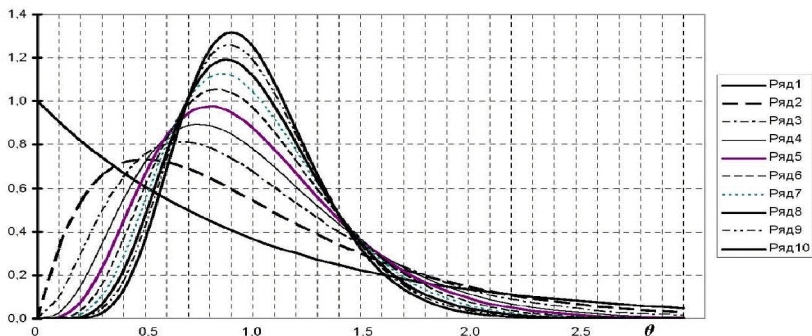


Рисунок 2 – Распределение функции времени пребывания в аппарате идеального смешивания и каскаде аппаратов идеального смешивания

С применением полученных значений функции распределения методом численного интегрирования были определены величины потерь сахара при температуре процесса 130°C , $\text{pH} = 8,5$ и в значениях $= 5; 10; 15; 30$ и 60 мин. Для всех значений числа каскадов аппаратов идеального смешивания отмечалась линейность зависимости величины разложения сахарозы от времени реакции (погрешность не превышает 10^{-3}).

Однако лишь для числа каскадов от 7 результаты вычисленных интегральных потерь и потерь, рассчитанных за средним временем пребывания, практически совпадали (погрешность $\delta < 10^{-3}$).

Оценка применения расчета потерь сахарозы по среднему времени при диффузной модели распределения времени пребывания раствора в аппарате описывается функцией вида [4]:

$$f(\tau) = \left(\frac{Pe}{\pi \cdot \theta} \right)^{1/2} \cdot \exp \left[- \frac{Pe (1 - \theta)^2}{4 \theta} \right]. \quad (5)$$

Аналогично к предыдущему анализу для каскада реакторов, влияние функциональной зависимости выполнялось путем сопоставления результатов расчета интегрирования разложения сахарозы для разных параметров функциональной зависимости (5).

Расчет выполнялся для диапазона чисел Пекле 1; 2; 5; 10 и 20, которые должны охватывать диапазон работы, характерный для испарительных аппаратов сахарного производства. Безразмерное время охватывал диапазон $\theta = 0 \dots 5$.

Дифференциальные кривые продолжительности пребывания раствора в аппарате для диффузионной модели представлены на рис.3.

Так же как и при расчетах для каскада реакторов для каждой из величин числа Pe имела место практически линейная зависимость от средней продолжительности процесса. Но особенности распределения времени пребывания отдельных порций раствора при диффузионной модели привели к тому, что величины разложения сахарозы превышали расчетные величины, полученные с применением среднего времени пребывания.

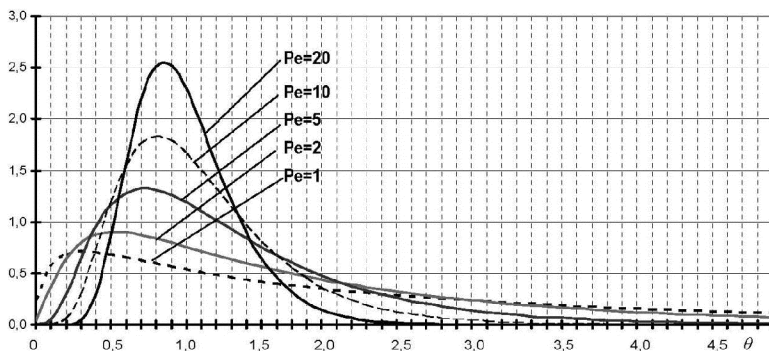


Рисунок 3 – Распределение функции времени пребывания раствора в аппарате при диффузионной модели

В случае применения логарифмически-нормального закона распределения времени пребывания микрообъемов раствора в выпарном аппарате, который наиболее обоснован теоретически [6], функция распределения времени пребывания раствора в аппарате описывается зависимостью вида:

$$f(\tau) = \frac{1}{\sigma \cdot \tau \cdot \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ - \frac{[\ln(\tau) - \ln(\bar{\tau})]^2}{2 \cdot \sigma^2} \right\}. \quad (6)$$

Анализ применения логарифмически-нормального закона распределения времени пребывания выполнялся для диапазона величин параметра $\sigma = 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 0,8$ и $1,5$, которые в соответствии с результатами производственных испытаний выпарных аппаратов различного типа охватывают диапазон работы, характерный для сахарного производства. Безразмерное время охватывал диапазон $\theta = 0 \dots 5$ (рис.4).

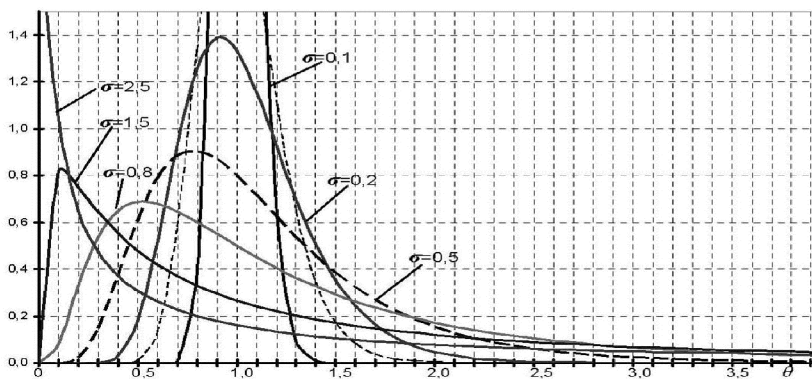


Рисунок 4 – Плотности распределения времени пребывания для логарифмически-нормального распределения

Так же как и при предыдущих расчетах для каждой из величин параметра σ имела место практически линейная зависимость от средней продолжительности процесса. Но особенности распределения времени пребывания отдельных порций раствора при логарифмически-нормальном распределении времени пребывания раствора влияют на суммарные величины распада сахарозы.

Интегральные результаты превышали расчетные величины, полученные с применением среднего времени пребывания, причем с увеличением величины параметра σ имело место увеличение величины расхождений. Причем при величинах $\sigma = 1,2$ расхождения в расчетах интегрированием и по средним величинам времени пребывания достигают максимума и начинают уменьшаться.

Данные производственных испытаний, проведенных во ВНИИСП, КТИПП показывают, что для промышленных выпарных аппаратов нормированная величина параметра σ имеет значения порядка $1 \dots 1,5$. При этом использование величины среднего времени пребывания раствора в аппарате приводит к занижению величины термического разложения сахарозы на $23 \dots 25 \%$.

Разработанная инженерная методика расчета времени пребывания раствора основана на применении скорректированной величины среднего времени пребывания раствора в аппарате. Величина потерь сахарозы определяется по зависимостям (2) и (3). Расчет изменения рН раствора при выпаривании выполняется по данным, полученным в работе [7].

Наиболее целесообразно данную методику использовать в качестве части математической модели энерготехнологического комплекса сахарного завода [8], общая методология создания которой разработана в УкрНИИСП с адаптацией для ряда конкретных заводов Украины и Российской Федерации. В этом случае имеются уточненные данные по температурному режиму и расходным характеристикам всех корпусов выпарной установки (в том числе и дублированных).

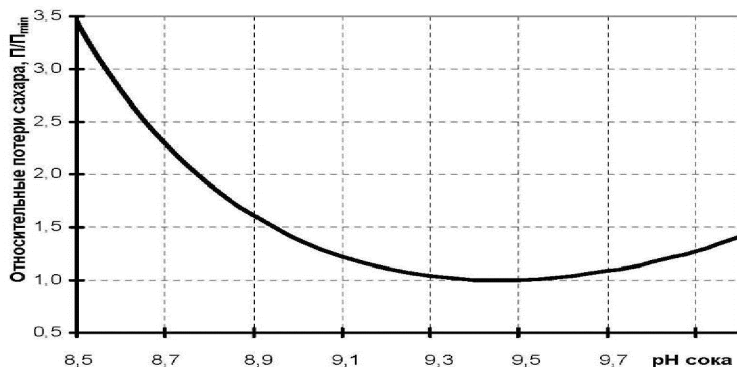


Рисунок 5 – Влияние pH очищенного сока на величину разложения сахарозы в выпарной установке

Выводы. Проведенные варианты расчеты с использованием разработанной методики расчета времени пребывания раствора в выпарной установке, определения величины разложения сахарозы и изменения технологических параметров показывают, что на абсолютную величину потерь сахарозы от термического разложения весьма существенно влияет величина pH сока перед выпарной установкой. Причем существует оптимум по величине pH сока перед выпарной установкой (рис. 5).

Особенно негативно сказываются низкие значения pH очищенного сока, что весьма часто имеет место на сахарных заводах при переработке некачественного сырья или при нарушениях технологического режима.

Очевидно, на практике, в этом случае рационально применять химические средства для повышения pH очищенного сока с целью уменьшения потерь сахарозы при сгущении и уваривании утфелей, что одновременно даст снижение нарастания цветности продуктов.

Список литературы

1. Белик, В. Г. Моделирование и оптимизация выпарных установок с пароотбором [Текст]/ В. Г. Белик, И. М. Федоткин. – К. : Техніка, 1974.–131 с.
2. Штангеев, К. О. Расчет времени пребывания сока в выпарной установке [Текст]/ К. О. Штангеев, В. А. Куприяненко // Сахар 2002. – № 3.
3. Сапронов, А. Р. Красящие вещества и их влияние на качество сахара [Текст]/ А. Р. Сапронов, Р. А. Колчева. – М. : Пищевая пром-сть, 1975.– 347 с.
4. Левеншпиль, О. Инженерное оформление химических процессов [Текст]/ О. Левеншпиль. – М. : Химия, 1969 – 625 с.
5. Кафаров, В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии [Текст]/ В. В. Кафаров. – М. : Химия, 1976. – 463с.
6. Исследования времени пребывания раствора при сгущении клеровки сахара-сырца [Текст]/ К. О. Штангеев [и др.] // Сахар. – 2002. – № 5.
7. Гейштовт, М. А. Влияние тепловых и гидродинамических режимов на изменение рН при выпаривании сахарных растворов с естественной и принудительной циркуляцией [Текст]/ М. А. Гейштовт, В. В. Майоров, В. В. Гончар // Сахарная промышленность. – 1972. – № 2.
8. Штангеев, К. О. Разработка адаптационной методики расчета тепловых схем сахарных заводов [Текст]/ К. О. Штангеев, В. И. Христинко // Сахар – 2005 : V междунар. научно-практ. конф.

Отримано 30.09.2009. ХДУХТ, Харків.

© Г.В. Тягун, К.О. Штангеев, Д.Г. Грищенко, 2009.