

Оценка схем очистки диффузионного сока

К.Д. СКОРИК

ИПК Госпищепрома Украины

Л. П. РЕВА, И. Б. ПЕТРИЧЕНКО,

В. А. ЛАГОДА, В. Е. ЯКОВЕНКО

КТИПП

При реконструкции и техническом перевооружении сахарных заводов, внедрении нового оборудования, прогрессивных технологий и систем автоматического управления возникает необходимость определить уровень разработки по ряду основных показателей, сравнить полученные результаты и выбрать оптимальный вариант решения.

Существующие методы сравнительной оценки работы технологических схем, оборудования или систем автоматизации не исключают субъективизма, так как на практике приходится проводить оценку не по одному параметру или показателю (производительность, эффект очистки сока и т. д.), а по их комплексу. Так, при оценке результатов испытаний системы автоматического управления процессом уваривания утфелей в свеклосахарном производстве [1] необходимо было учитывать такие параметры, как длительность циклов уваривания и центрифугирования утфеля, эффект кристаллизации, содержание кристаллов в утфеле, фракционный состав кристаллического сахара, его цветность и др.

С аналогичной проблемой сталкиваются и при сравнительных испытаниях технологических схем очистки диффузионного сока и оптимизации управления процессом очистки. Единого подхода к выбору и формулировке критерия оптимальности не существует из-за особенностей процесса [2, 3]. Сложность этого процесса вызывает необходимость использования большого числа показателей (более 30, по данным [4]) при проведении сравнительных испытаний схем. Каждый из них имеет свой физический смысл, размерность, интервал

варьирования, влияние на качество продукции и степень значимости в обобщенной оценке процесса.

Из многих откликов, определяющих функционирование объекта, очень трудно, а часто и невозможно выбрать один, самый важный. Поэтому на практике возникает необходимость обобщения (свертывания) множества откликов в единый количественный признак. Чтобы различные по физическому смыслу параметры сделать сравнимыми и получить их обобщенную оценку, следует преобразовать значения этих параметров в безразмерные величины, а затем использовать их для построения безразмерной числовой обобщенной характеристики.

Рассмотрим один из наиболее удобных и практичных способов построения обобщенной характеристики – обобщенную функцию желательности (рис. 1), предложенную Е. Харрингтоном [5, 6]. Этот способ позволяет преобразовать различные по физическому смыслу параметры в безразмерную шкалу предпочтений (рангов) и установить соответствие между физическими (характеризующими протекание процесса) и психологическими (субъективными оценками предпочтений) параметрами.

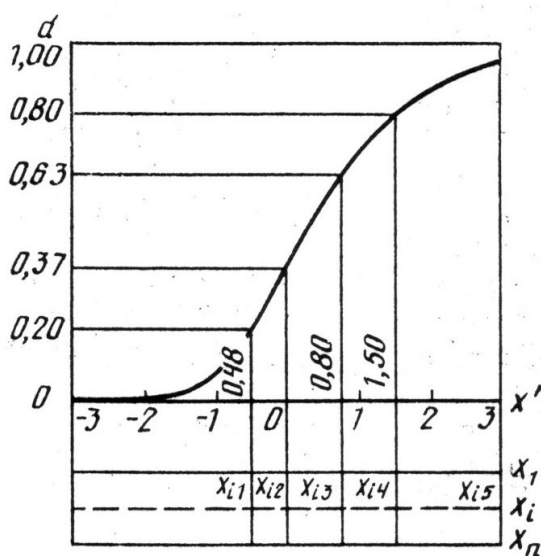


Рис. 1. Обобщенная функция желательности

Для построения функции желательности по оси ординат d откладываются значения желательности в интервале от 0 до 1. Этот интервал разбивается на

пять областей, каждая из которых соответствует определенной эмпирической оценке. Получить шкалу желательности удобно с помощью данных таблицы соответствий между отношениями предпочтения в эмпирической и числовой системах (табл. 1).

Таблица 1. Соответствие между отношениями предпочтения в эмпирической и числовой системах

Желательность (эмпирическая оценка)	Отметки на шкале желательности
Очень хорошо	1,00—0,80
Хорошо	0,80—0,63
Удовлетворительно	0,63—0,37
Плохо	0,37—0,20
Очень плохо	0,20—0,00

На оси абсцисс x' физические параметры кодируются в безразмерные величины, изменяющиеся от -3 до $+3$. Нулевой точке соответствует граница раздела оценок «плохо» и «удовлетворительно». Нулевая оценка, таким образом, характеризует качество технологического регламента, оборудования, системы автоматического управления на границе удовлетворительности. Этому соответствуют координаты кодированной величины параметра $x' = 0$ и частной желательности $d = 0,37$. Выбор отметок 0,37 и 0,63 объясняется удобством вычислений: $0,37 \approx 1/e$ и $0,63 \approx (1 - \frac{1}{e})$. Кроме того, точка перегиба кривой имеет координаты $(0; 0,37)$, а значение $d = 0,37$ обычно соответствует границе допустимых значений.

Ось абсцисс в принятом масштабе отражает комплекс рассматриваемых параметров для оценки по шкале желательности. Точки, соответствующие высшей ($d = 1$) и низшей оценкам качества ($d = 0,2$), проектируются на ось X_i параметров, и получают точки X_{15} и X_{12} , которым присваиваются физические значения параметров оценки качества, соответствующие верхнему и нижнему пределам сравниваемых параметров.

Аналогичным образом, исходя из опыта работы, требований технологических регламентов, нормативов, технических характеристик

существующего уровня качества, присваиваются физические значения параметров оценкам значения желательности $d = 0,8$ и $d = 0,63$.

После проведенного таким образом ранжирования оценочных зон по оси $x_1 - x_n$ наносятся физические значения параметров, по которым определяются частные функции желательности d_i .

Ниже приведены числа, соответствующие некоторым точкам кривой (см. рис. 1), которая задается уравнением

$$d = \exp[-\exp(-x^1)], \quad (1)$$

где x^1 – кодированное значение переменной.

x'_i	–3,00	–2,00	–1,50	–1,00	–0,80	–0,48	–0,25	0,00
d_i	0,0	0,0006	0,011	0,066	0,108	0,200	0,277	0,368
x^1_i	0,25	0,50	0,80	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00
d_i	0,459	0,545	0,638	0,692	0,800	0,873	0,921	0,951

Следует, отметить, что выбор этой кривой не единственная возможность. Однако последняя возникла в результате анализа результатов экспериментов и обладает такими свойствами, как непрерывность, монотонность и гладкость. Кроме того, «чувствительность» кривой в областях желательности, близких к 0 и 1, существенно ниже, чем в средней зоне.

Кривую желательности обычно используют как номограмму. На практике такой прием часто оказывается достаточным, но не всегда: во-первых, потому что точность графического определения желательности может оказаться недостаточной; во-вторых, потому что эта точность зависит от положения на шкале x^1 . Тогда используют аналитический метод определения желательности с помощью шкалы x^1 и уравнения (1).

После выбора шкалы желательности и преобразования частных откликов в частные функции желательности выполняется основная задача – построение обобщенного показателя D , названного Е. Харрингтоном обобщенной функцией

желательности. Он определяется как среднее геометрическое частных желательностей по формуле

$$D = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i}. \quad (2)$$

При таком способе задания показателя D он равен нулю, если хотя бы одна частная желательность равна нулю ($d_i = 0$), и $D = 1$ тогда и только тогда, когда все $d_i = 1$ ($1, 2, \dots, n$).

Рассмотрим примеры применения метода Харрингтона для сравнительной обобщенной оценки различных технологических схем очистки диффузионного сока.

Обобщенная оценка технологических схем очистки сока I и II (табл. 2) выполнена по результатам сравнительных испытаний, проведенных одновременно на параллельных линиях Пальмирского сахарного завода, что обусловило высокую достоверность сопоставительного анализа.

Схема I. Сок очищали по типовой (с 1978 г.) схеме с комбинированной основной дефекацией в такой последовательности: теплая прогрессивная известковая преддефекация ($48 - 55^\circ\text{C}$) с возвратом на нее $50 - 60\%$ сока I сатурации, теплая ступень основной дефекации ($48 - 55^\circ\text{C}$, 10 мин), подогрев, горячая ступень основной дефекации (85°C , 10 мин), I сатурация, подогрев и отстаивание сока, получение сгущенной суспензии и осветленного сока, фильтрование сгущенной суспензии сока I сатурации на вакуум-фильтрах, подогрев осветленного и фильтрованного сока до 90°C , дефекация перед II сатурацией (5 мин), II сатурация, отстаивание сока II сатурации, контрольное фильтрование осветленного сока и далее – по общепринятому потоку.

Схема II представляет собой усовершенствованный вариант типовой (с 1978 г.) технологической схемы. Отличительный ее элемент – возврат на прогрессивную преддефекацию всей получаемой сгущенной суспензии сока II сатурации. Отстаивание сока II сатурации осуществляется в отстойнике с фильтрующим слоем осадка. Для повышения скорости осаждения твердой фазы

в сок II сатурации вводится раствор полиакриламида, активированного тринатрийфосфатом.

При испытаниях схем I и II в переработку поступала свекла удовлетворительного качества. Содержание зеленой массы составляло 0,60 – 0,70% к массе свеклы, здоровой ткани в корнях – 88 – 92 %, pH нормального сока 6,3 – 6,5, а его чистота – 84 – 85 %. Завод работал ритмично, что обеспечивало условия для поддержания заданного оптимального технологического режима.

На основе анализа нормативов, рекомендуемых значений показателей очистки сока и т. д. [3, 7, 8] для сравнения и обобщенной оценки технологических схем были выбраны семь показателей.

Таблица 2. Обобщенная оценка технологических схем очистки сока

Показатель	Схема очистки сока					
	I			II		
	Натуральные значения показателей	Кодированные значения показателей x_i	Значения частных функций желательности d_i	Натуральные значения показателей	Кодированные значения показателей x_i	Значения частных функций желательности d_i
Эффект очистки E , %	31,1	0,954	0,680	35,1	1,53	0,805
Расход извести на очистку b , % к массе свеклы	2,75	1,15	0,729	2,5	1,50	0,800
Скорость осаждения S_5 , см/мин	3,3	1,65	0,825	3,6	1,80	0,848
Объем осадка V_{25} , %	26,0	—0,096	0,333	24,1	0,144	0,421
Фильтрационный коэффициент F_k , с/см ²	2,6	2,1	0,885	1,7	3,0	0,951
Падение pH на выпарке Δ pH	1,2	—0,48	0,200	0,8	0,27	0,466
Нарастание цветности на выпарке Δ Цв, %	55,5	0,661	0,597	112,5	—0,50	0,192

Таблица 3. Рекомендуемые значения показателей очистки сока для сравнения и обобщенной оценки технологических схем

Желательность (эмпирическая оценка)	Отметки на шкале желательности	Показатель						
		Эффект очистки сока E , %	Расход извести на очистку b , % к массе свеклы	Скорость осаждения S_5 , см/мин	Объем осадка V_{25} , %	Фильтрационный коэффициент F_k , с/см ²	Падение pH на выпарке Δ pH	Нарастание цветности на выпарке Δ Цв, %
Очень хорошо	0,95—0,80	35—40	2,5—2,0	3—6	18—15	3—2	0,4—0,2	30—10
Хорошо	0,80—0,63	30—35	3,0—2,5	2,5—3	20—18	4—3	0,6—0,4	50—30
Удовлетворительно	0,63—0,37	25—30	3,5—3,0	2—2,5	25—20	5—4	0,9—0,6	80—50
Плохо	0,37—0,20	20—25	3,5—4,0	1,5—2	30—25	6—5	1,2—0,9	100—80
Очень плохо	0,20—0,00	20	4,0	1,5	30	6	1,2	100

В таблице 3 эти показатели распределены по степени желательности (эмпирической оценке).

По числам, приведенным выше, строили обобщенную функцию желательности Харрингтона с размещением под осью кодирования x' семи осей, соответствующих семи выходным параметрам (рис. 2). На осях $E - \Delta Цв$ откладывали значения показателей в соответствии с данными таблицы 2. Затем определяли частные желательности по каждому из показателей в безразмерном виде аналитическим или графическим способами [9].

Кодированные значения показателей и величины частных желательностей приведены в таблице 2. По формуле (2) вычисляли обобщенную функцию желательности (обобщенная оценка) при очистке диффузионного сока по разным технологическим схемам (I – II).

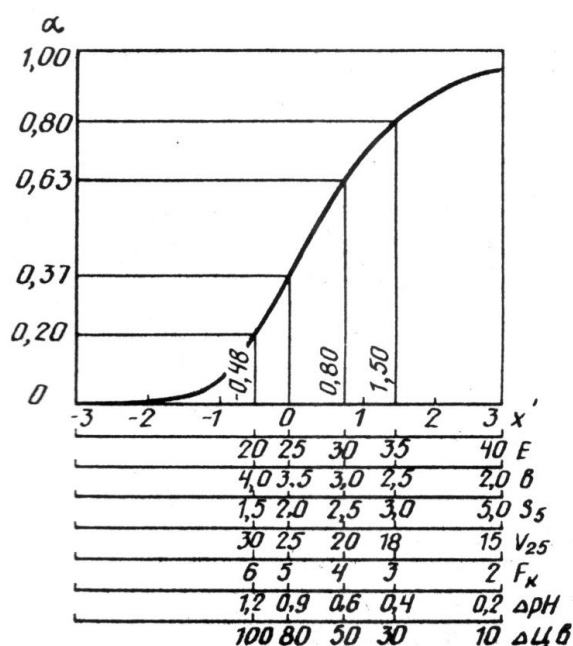


Рис. 2. Оценка показателей работы схем очистки диффузионного сока

Для автоматизации расчетов частных и обобщенных желательностей разработана программа на алгоритмическом языке Бейсик. Укрупненная схема алгоритма и листинг программы приведены в работе [9]. Расчеты осуществляли на персональном компьютере IBM PC/AT.

$$D = \sqrt[7]{\prod_{i=1}^7 d_i [0,680 \cdot 0,729 \cdot 0,825 \times 0,333 \cdot 0,885 \cdot 0,200 \cdot 0,597]^{1/7}} = 0,546 .$$

Аналогично получили значение $D_{II} = 0,570$.

Зона изменения обобщенной оценки от 0,80 до 0,95 принимается за плюс 100 %, от 0,80 до 0,37 – за минус 100 %, и за базу сравнения выбираются показатели схемы очистки сока с обобщенной оценкой качества, например $D = 0,80$. Знаки плюс или минус означают, что обобщенная оценка соответственно выше или ниже базовой.

После вычисления отклонений обобщенных оценок различных схем от базовой величины (в процентах) и использования полученных значений обобщенных функций желательности можно сделать следующие выводы.

Даже незначительное усовершенствование типовой схемы I ($D_I = 0,546$) сказалось на повышении величины обобщенной оценки для схемы II, в результате чего $D_{II} = 0,570$. Соответственно, величина D_I на 59,1 %, а D_{II} – на 53,5 % ниже базовой.

К достоинствам применения данного метода комплексного сравнения различных технологических схем очистки сока относится также возможность сопоставления частных желательностей для групп показателей, характеризующих, например, эффективность использования извести, седиментационно-фильтрационные показатели, термоустойчивость соков и т. д. Для этого необходимо вычислить обобщенные функции желательности по формуле

$$D = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n di}. \quad (3)$$

где n – число показателей в анализируемой группе.

Например, обобщенные функции желательности для оценки седиментационно - фильтрационных свойств осадка сока I сатурации схем I и II соответственно равны:

$$D_I' = \sqrt[3]{0,825 \cdot 0,333 \cdot 0,885} = 0,624 ;$$

$$D_{II}' = \sqrt[3]{0,848 \cdot 0,421 \cdot 0,951} = 0,698 .$$

Как видно из сравнения величин $D'_I = 0,624$ и $D'_{II} = 0,698$, предложенные меры по усовершенствованию технологической схемы I позволили также в определенной степени улучшить свойства осадка сока I сатурации.

Таким образом, применяя метод Харрингтона, можно получить достаточно объективную, обобщенную по нескольким показателям числовую оценку эффективности различных технологических схем очистки диффузионного сока.

Обобщенная функция желательности является количественным, однозначным, единым и универсальным показателем качества исследуемого объекта (в нашем случае – схем очистки сока). Если учитывать еще такие ее свойства, как адекватность, эффективность и статистическую чувствительность, то становится ясно, что ее можно использовать в качестве критерия оптимизации для многих процессов сахарного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпенко В. А., Кравчук А. Ф. Оценка результатов испытаний автоматического управления процессом уваривания сахарных утфелей // Сахарная промышленность, 1985, № 11, с. 47 - 50.

2. Сущенко А. А., Ладанюк А. П. Оптимальное управление процессом очистки диффузионного сока. - М.: Агро-НИИТЭИПП, 1989, вып. 9. - 20 с.

3. Wolf S. Einige Kriterien zur Saftreini