

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ АНИОНООБМЕННОЙ ОБРАБОТКИ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

С. В. Лодыгина, И. А. Евдокимов, С. А. Рябцева,

А. Д. Лодыгин, Н. Н. Абакумов

Обоснована актуальность использования анионообменных смол в технологии концентратов лактулозы. Представлены результаты исследований анионообменной обработки молочной сыворотки.

In article the urgency of utilization of anion-exchange resins in technology of lactulose concentrates is proved. Results of researches of the anion-exchange treatment of a milk whey presented.

Рациональная переработка вторичного молочного сырья является одной из наиболее актуальных проблем молочной промышленности. Это связано не только с решением экологических проблем, но и с перспективой создания продуктов функционального питания, обогащенных производными лактозы, в первую очередь, лактулозой. Концентраты лактулозы пищевого назначения должны характеризоваться высокими функционально-технологическими показателями, безопасностью для здоровья человека, относительной дешевизной.

Этим требованиям отвечают активно разрабатываемые в последние годы безреагентные методы обработки молочного сырья, которые позволяют упростить цикл производства целевых продуктов, уменьшить энергетические и материальные затраты на переработку данного сырья. Традиционная технология концентратов лактулозы предусматривает внесение в лактозосодержащее сырье щелочных реагентов для создания определенной концентрации акцепторов протонов (ОН⁻-групп), необходимой для протекания реакции изомеризации лактозы в лактулозу по механизму L-А-трансформации.

Аналогичный эффект может быть достигнут при анионообменной обработке лактозосодержащего молочного сырья. ОН-ионы, которые

переходят в раствор при анионообмене, выполняют роль акцепторов протонов, необходимых для внутримолекулярной трансформации молекулы лактозы в лактулозу.

В основу настоящих экспериментальных исследований было положено изучение кинетических закономерностей анионообменной обработки подсырной сыворотки на разных типах анионообменных смол в статических условиях при влиянии таких факторов, как температура сырья и соотношение объемов «сыворотка – ионит», и установление оптимальных параметров процесса, при которых достигается максимальное значение рН молочной сыворотки.

Изучение кинетики процесса регулирования рН молочной сыворотки проводилось с использованием анионообменных смол АВ-17-8чс и ЭДЭ-10П, предварительно переведенных в ОН-форму. Перевод смолы в ОН-форму проводился в статических условиях при температуре 20⁰С с использованием 4%-го раствора гидроксида натрия. В ходе проведения предварительных экспериментов были выбраны следующие соотношения анионообменной смолы и молочной сыворотки: 1:3, 1:5, 1:7. Измерения рН осуществляли при постоянном перемешивании смолы с раствором молочного сахара-сырца до достижения постоянного значения. Полученные результаты по пяти сериям параллельных опытов (средние значения) представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты исследований кинетики анионообменной обработки подсырной сыворотки на ионите ЭДЭ-10П

Температура, °С	Соотношение «ионит – сыворотка»	Максимальное значение рН	Продолжительность обработки, мин
20	1 : 3	10,44	82,5
	1 : 5	10,20	93,8
	1 : 7	9,73	115,0
30	1 : 3	9,32	97,5
	1 : 5	9,10	100,0
	1 : 7	9,05	115,0
40	1 : 3	9,18	101,5
	1 : 5	8,95	116,3
	1 : 7	8,60	116,3
50	1 : 3	9,41	90,0
	1 : 5	9,37	93,8
	1 : 7	9,35	105,0

Таблица 2 – Результаты исследований кинетики анионообменной обработки подсырной сыворотки на ионите АВ-17-8-чс

Температура, °С	Соотношение «ионит – сыворотка»	Максимальное значение рН	Продолжительность обработки, мин
20	1 : 3	10,61	81,7
	1 : 5	10,61	100,0
	1 : 7	9,70	107,5
30	1 : 3	10,35	82,5
	1 : 5	9,94	90,0
	1 : 7	9,64	92,5
40	1 : 3	9,88	82,5
	1 : 5	9,47	97,5
	1 : 7	9,10	115,0
50	1 : 3	10,72	67,5
	1 : 5	9,46	115,0
	1 : 7	9,02	110,0

Анализ результатов исследований, представленных в таблицах 1 и 2, позволил сделать вывод о целесообразности использования для проведения безреагентной изомеризации лактозы в лактулозу анионита АВ-17-8-чс, как более эффективного, и установить интервалы варьирования входных параметров Х1 (продолжительность анионообменной обработки, мин), Х2 (температура, °С), Х3 (соотношение объемов «сыворотка – ионит») при постановке трехфакторного эксперимента по униформ-ротатбельному плану (таблица 3).

Таблица 3 – Параметры трехфакторного эксперимента

Уровни варьирования	Факторы		
	X ₁	X ₂	X ₃
Основной «0»	30	40	5
Шаг, λ	10	10	1
Нижний «- 1»	20	30	4
Верхний «+ 1»	40	50	6
Звездные точки			
«- R»	13	23	3,3
«+ R»	47	57	6,7

Математическая обработка результатов эксперимента позволила вывести регрессионную зависимость, представленную в виде следующего уравнения:

$$Y = 9,204 + 0,093 * X_1 + 0,713 * X_2 - 0,45 * X_3 - 0,607 * X_1^2 - 1,272 * X_2^2 - 0,343 * X_3^2 - 0,155 * X_1 * X_2 - 0,156 * X_1 * X_3 - 0,233 * X_2 * X_3 \quad (1)$$

Анализ уравнения регрессии позволяет сделать следующие выводы:

- полученная математическая модель адекватно описывает процесс регулирования рН молочной сыворотки с использованием анионообменной смолы АВ-17-8-чс;

- наибольшее влияние на выходной параметр оказывает фактор X₂ (температура обрабатываемого сырья), линейное увеличение которого в исследованном диапазоне значений приводит к возрастанию рН молочной сыворотки;

- квадратичные эффекты свидетельствуют о наличии областей экстремума (максимума) выходного параметра для всех входных параметров, что позволяет установить оптимальные их значения, при которых достигается максимальная величина рН обрабатываемой сыворотки.

Для установления оптимальных значений была использована методика построения поверхностей отклика выходного параметра при фиксированных

значениях одного из трех входных факторов ($X_1 = 0$; $X_2 = 0$; $X_3 = 0$). Полученные графические модели процесса анионообменной обработки молочной сыворотки представлены на рисунках 1 – 3. Сопоставление поверхностей отклика выходного параметра позволило установить оптимальные значения исследованных факторов:

- температура $40 \pm 5^\circ\text{C}$;
- продолжительность анионообменной обработки 30 ± 5 мин;
- отношение объемов «сыворотка / смола»: $(5 \pm 0,25) / 1$.

Результаты исследований будут использованы при разработке технологического регламента получения концентрата лактулозы с использованием анионообменных смол.

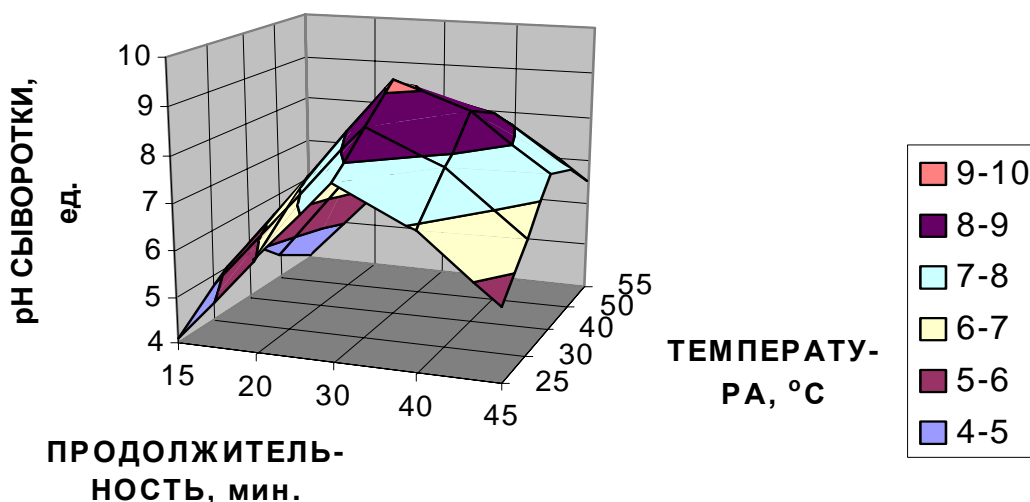


Рисунок 1 – Поверхность отклика выходного параметра при $X_3 = 0$

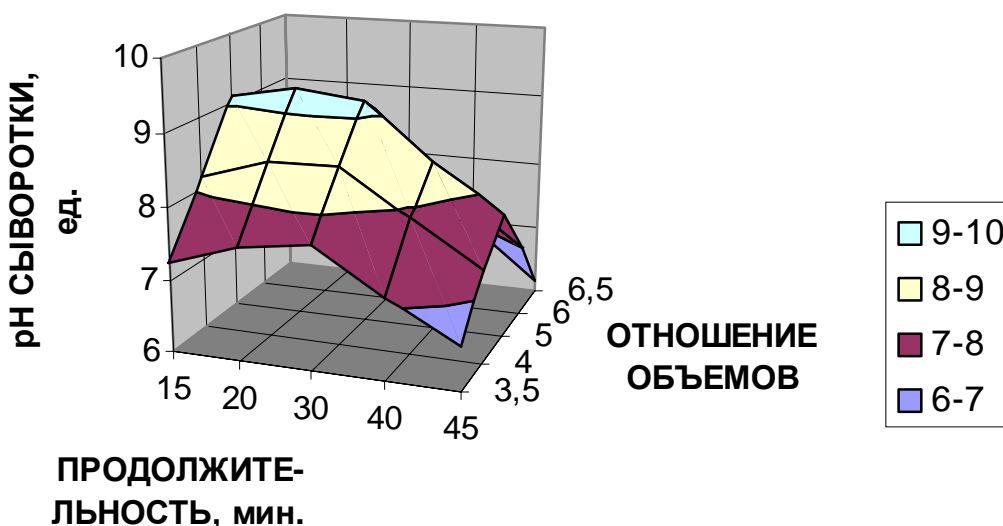


Рисунок 2 – Поверхность отклика выходного параметра при $X_2 = 0$

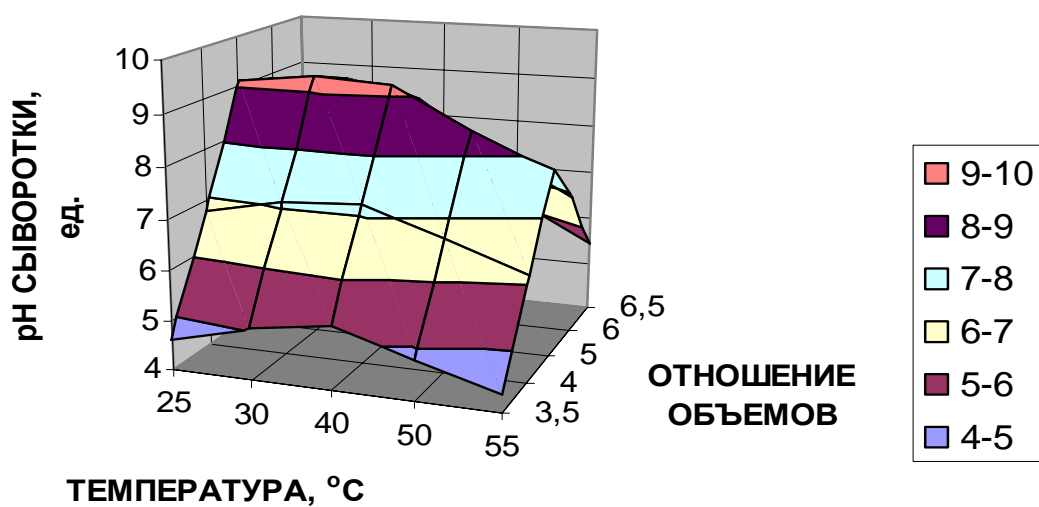


Рисунок 3 – Поверхность отклика выходного параметра при $X_1 = 0$