

## РАЗДЕЛ 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 664.292

### ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ КИСЛОТНОГО ГИДРОЛИЗА КАРТОФЕЛЬНОГО КРАХМАЛА

<sup>1</sup>АЛЕКСЕЕНКО М.С., инженер-химик 1 категории, <sup>2</sup>ГРАБОВСКАЯ Е.В., <sup>1</sup>ЛИТВЯК В.В.

<sup>1</sup>РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию, г. Минск, Республика Беларусь»

<sup>2</sup>Национальный университет пищевых технологий, г. Киев, Украина

Ключевые слова: оптимизация, крахмал, гидролиз.

Реферат: проведена оптимизация технологических режимов кислотного гидролиза (концентрации кислоты, температуры и времени гидролиза) картофельного крахмала в зависимости от его основных физико-химических свойств (количества сухих веществ в надосадочной жидкости, текучести и желирующей способности клейстера). Установлено, что для получения кислотномодифицированного крахмала со структурообразующими свойствами оптимальными параметрами являются: применение 0,5 н. соляной кислоты при температуре 27°C и продолжительности процесса 19,5 ч.

Для кислотного гидролиза крахмала существенное значение имеет соблюдение технологического режима, а именно таких параметров: концентрации кислоты, температуры и продолжительности процесса. Полученные в ходе экспериментальных исследований данные, позволили выполнить задачу оптимизации с помощью методов математического моделирования.

На первом этапе были проведены экспериментальные исследования с целью определения оптимальных границ применения технологических параметров для проведения модификации (кислотного гидролиза) крахмала, которые дают возможность получить кислотномодифицированный крахмал с определенными физико-химическими свойствами. По результатам исследования были установлены уровни факторов и интервалы варьирования основных параметров процесса (таблица 1).

Вторая серия опытов заключалась в исследовании влияния технологических условий модификации (кислотного гидролиза) крахмала: концентрации кислоты, температуры и времени обработки на свойства полученного крахмала. Эксперименты проводили согласно плану трехфакторного эксперимента второго порядка, который приведен в таблице 2.

Решение задачи оптимизации предусматривает разработку математической модели для выражения зависимости показателей кислотномодифицированного крахмала от технологических параметров процесса. Математические модели, полученные при исследовании технологических объектов, позволяют решать ряд задач, среди которых особое место занимает задача поиска оптимальных параметров проведения процесса в исследуемом объекте.

Для оценки качества полученного модифицированного крахмала были определены следующие свойства и параметры крахмала: текучесть и желирующая способность клейстера полученного кислотного гидролизованного картофельного крахмала, а также содержание сухих веществ в фильтрате, после обезвоживания кислотного гидролизованного картофельного крахмала.

Сначала была проведена статистическая обработка экспериментальных данных, полученных в предыдущих исследованиях, проведенных в соответствии с планом (таблица 2). Для определения совокупного влияния всех трех факторов на процесс кислотной модификации крахмала был использован обобщенный критерий оптимизации, который позволяет единственным количественным показателем обобщить выбранные локальные критерии оптимальности:

$$F = \prod_{i=1}^3 f_i'(x_1, x_2, x_3)^{\lambda_i} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $f'_i(x)$  – локальные критерии оптимальности в безразмерной форме;  $\lambda_i$  – значимые коэффициенты,  $i=1\dots3$ .

Таблица 1 – Уровни факторов и интервалы варьирования

Уровни факторов	Условия проведения кислотного гидролиза		
	Концентрация HCl, н.	Время, час.	Температура, °C
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Нижний уровень	0,2	3	25
Основной уровень	0,35	13	37,5
Верхний уровень	0,5	22	50
Интервал варьирования	0,1	2	5
Уровень – $\alpha$	0,1	1	20
Уровень + $\alpha$	0,6	24	55

Таблица 2 – Выбор необходимых опытов с помощью метода планирования эксперимента

Номер опыта	Условия проведения кислотного гидролиза		
	Температура, °C	Время, час	Концентрация HCl, н.
1	25	3	0,2
2	50	3	0,2
3	25	22	0,2
4	50	22	0,2
5	25	3	0,5
6	50	3	0,5
7	25	22	0,5
8	50	22	0,5
9	20	13	0,35
10	55	13	0,35
11	37,5	1	0,35
12	37,5	24	0,35
13	37,5	13	0,1
14	37,5	13	0,6
15	37,5	13	0,35
16	37,5	13	0,35
17	37,5	13	0,35
18	37,5	13	0,35
19	37,5	13	0,35

Для оценки эффективности процесса гидролиза крахмала до получения кислотномодифицированного крахмала, в качестве основных факторов, влияющих на процесс были избраны следующие параметры оптимизации:  $x_1$  – концентрация соляной кислоты, н.;  $x_2$  – температура процесса, °C;  $x_3$  – продолжительность процесса, ч.

Локальным критерием оптимизации является:  $f_1(x_1, x_2, x_3)$  – текучесть;  $f_2(x_1, x_2, x_3)$  – желирующая способность;  $f_3(x_1, x_2, x_3)$  – содержание сухих веществ в жидкой фазе.

Уравнение для получения локальных критериев оптимизации были представлены в натуральных значениях параметров (температура в °C, продолжительность процесса в часах и концентрация кислоты – нормальность раствора кислоты). Влияние отдельных локальных критериев оптимизации считаем одинаковым, равным:  $\lambda_1 = 0,33$ ,  $\lambda_2 = 0,33$ ,  $\lambda_3 = 0,33$ .

Уровни факторов и интервалы варьирования выбирали опираясь на результаты предыдущих экспериментальных лабораторных исследований.

Эксперимент осуществляли согласно ротатабельному плану 3-х факторного эксперимента второго порядка (табл. 2) – предварительно составленным оптимальным алгоритмом изменения

факторов, реализация которого позволяет осуществить комплексное воздействие на состояние объекта исследования. План эксперимента был составлен таким образом, чтобы рандомизировать (т.е. сделать случайными) систематически действующие факторы, которые трудно подлежат учету и контролю, для того, чтобы можно было учесть их статистически.

В плане эксперимента: количество опытов  $N = 20$ , количество факторов  $K = 3$ , количество повторных опытов в центре плана  $N_o = 6$ . Средняя квадратическая погрешность опытов в центре плана для каждого из исследуемых параметров составляет: для текучести  $\delta f_1 = 0,71$ ; для желирующей способности  $\delta f_2 = 0,7$ ; для содержания сухих веществ в жидкой фазе  $\delta f_3 = 0,075$ .

Процесс гидролиза проводили по методике описанной выше. Для этого готовили суспензию крахмала концентрацией 35%. После завершения процесса гидролиза смесь нейтрализовали раствором кальцинированной соды до pH 4,5–5,0.

Выбор уравнений, расчет и уточнение коэффициентов этих уравнений осуществляли с помощью приложения Mathcad Professional 2000. Путем сравнения расчетных значений с экспериментальными были рассчитаны среднее отклонение и относительная погрешность. В результате были получены следующие уравнения локальных критериев оптимизации (в натуральных значениях факторов).

Обобщенное критериальное уравнение зависимости текучести клейстера картофельного кислотного гидролизованного крахмала от температуры, времени обработки и концентрации кислоты имеет следующий вид:

$$f_1(x_1; x_2; x_3) = 109989 - 0,393333x_1 - 0,466268x_2 - 37,03018x_3 + 2,228310^2 \cdot x_2^2 + 5,0923410^3 \cdot x_1^2 + 563871x_3^2 \quad (2)$$

$$f_1(48; 19,5; 0,5) = 97,80434 \quad f_1(37,5; 12,5; 0,35) = 94,00034 .$$

Далее был определен критерий Фишера расчетный, равный 2,6, что меньше табличного значением критерия Фишера (5,1), и, поэтому, удовлетворяет условиям. Средняя квадратическая погрешность уравнения составляет  $\delta f_1 = 1,15$ .

Минимум текучести картофельного кислотного гидролизованного крахмала находится в оптимуме (минимум) 93,9 при температуре обработки 38,55°C, времени обработки 10,4 час и концентрации кислоты 0,335 н.

Обобщенное критериальное уравнение зависимости желирующей способности клейстера картофельного кислотного гидролизованного крахмала от температуры, времени обработки и концентрации кислоты имеет следующий вид:

$$f_2(x_1; x_2; x_3) = -8,1484 + 0,353038x_1 + 0,675306x_2 + 11,09338x_3 - 1,8707510^2 \cdot x_1 \cdot x_2 + 5,1193910^3 \cdot x_2^2 - 20,2858x_3^2 \quad (3)$$

$$f_2(48; 19,5; 0,5) = 6,87756 \quad f_2(37,5; 12,5; 0,35) = 6,87756 .$$

Полученные данные проверили по критерию Фишера. Расчетный критерий Фишера составляет 3,30, а табличный – 5,1, что для данных условий является удовлетворительным. Средняя квадратическая погрешность уравнения составляет  $\delta f_2 = 1,28$ .

Установлено, что максимум желирующей способности картофельного кислотного гидролизованного крахмала находится в оптимуме (максимум) 9,2 при температуре обработки 48°C, времени обработки 5,5 час и концентрации кислоты 0,275 н.

Обобщенное критериальное уравнение зависимости содержания сухих веществ в фильтрате картофельного кислотного гидролизованного крахмала от температуры, времени обработки и концентрации кислоты имеет следующий вид:

$$f_3(x_1; x_2; x_3) = -1,4517 + 6,9637 \cdot 10^{-4} \cdot x_1 - 3,51857 \cdot 10^{-3} \cdot x_2 + 11,0423x_3 - 0,11111x_1 \cdot x_3 + 6,0898 \cdot 10^{-4} \cdot x_1^2 - 7,23244x_3^2 \quad (4)$$

$$f_3(48; 19,5; 0,5) = 0,9626 .$$

Для данного уравнения расчетный критерий Фишера составляет 4,39, что меньше табличного значения критерия Фишера (5,1). Средняя квадратическая погрешность уравнения составляет  $\delta f_3 = 0,15$ .

Выявлено, что минимум сухих веществ в надосадочной жидкости суспензии картофельного кислотного гидролизованного крахмала находится в оптимуме (минимум) 0,2616 при температуре обработки 27°C, времени обработки 19,5 час и концентрации кислоты 0,2 н.

Полученные уравнения имеют практическое значение и позволяют по исходным технологическим параметрам гидролиза спрогнозировать ход процесса и качество полученного модифицированного крахмала. Относительная погрешность полученных уравнений находится в пределах допустимых значений (5% от среднего значения каждого из факторов).

Для нахождения оптимальных значений параметров процесса: температуры, продолжительности процесса и концентрации кислоты по уравнению 1 была проведена 3-х параметрическая нелинейная оптимизация методом сеток. Параметр  $x_1$  менялся от 27°C до 48°C, параметр  $x_2$  менялся от 5,5 до 19,5 ч и  $x_3$  от 0,2 н. до 0,5 н.

Для перевода натуральных значений локальных критериев оптимальности в безразмерную форму в диапазоне от 0,01 до 0,99 была использована линейная интерполяция.

С помощью обобщенного критерия оптимизации были определены оптимальные технологические параметры процесса обработки крахмала соляной кислотой с получением модифицированного крахмала. Для получения кислотномодифицированного крахмала со структурообразующими свойствами оптимальными параметрами являются: применение 0,5 н. соляной кислоты при температуре 27°C и продолжительности процесса 19,5 ч.

В результате повторных исследований проведенных по уточненным оптимальными параметрами было установлено, что такие параметры процесса гидролиза картофельного крахмала обеспечивают получение кислотомодифицированного крахмала без осложнений и согласуются с данными, полученными при проведении предыдущих экспериментальных исследований.

УДК 677.371.021.001.76

#### **ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ КОКОНОВ ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА**

АЛИМОВА Х., АBAЗОВ К.Р., старший научный сотрудник-исследователь, ГУЛАМОВ А.Э.

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, г. Ташкент,  
Республика Узбекистан

Ключевые слова: СК-150К, инфракрасный луч, замаривание, сухие коконы, сортовые и несортные коконы, сортировка, одиночная размотка, шелковая нить, коконный сдир, пленка, разматываемость, удельный расход коконов.

Реферат: в этой статье предложено усовершенствование имеющегося агрегата СК-150К новым устройством с применением инфракрасных лучей. В результате исследования приводится сравнение анализов технологических показателей имеющейся и усовершенствованной технологий.

При морке куколок коконов тутового шелкопряда на имеющемся и усовершенствованном агрегате СК-150К в течении одинакового времени и режиме замаривания (с подсушкой), остаточная влажность, имеющаяся в составе кокона у контрольного варианта составляет 108%, а у опытного 76%, теневая сушка до кондиционной влажности сокращается на 14 дней по сравнению с контрольным. По результатам одиночной размотки каждого из двух вариантов обработанных коконов видно, что их технологические показатели различаются в чувствительной степени. Выход шелка-сырца из кокона в опытном варианте – 37,6%, то у контрольного этот показатель-33,0%. У опытного варианта коконов обработанного инфракрасными лучами выход шелка-сырца по сравнению с контрольным выше на 14%. Вместе с этим мы видим, что общая и непрерывная длины коконной нити в чувствительной степени выше у опытного образца, чем у контрольного. Анализ этого состояния подтверждает, что морка куколки коконов тутового шелкопряда воздействием инфракрасных лучей и сушка их горячим воздухом при сравнительно низкой температуре 80°C создаёт возможности для сохранения естественных технологических показателей оболочки. По результатам проведенных исследований можно констатировать, что усовершенствование в будущем имеющегося агрегата СК-150К и ускорение процесса сушки используя для этого горячий воздух температурой 80°C (комбинационный режим) создает