

М.К. Шаяхметова^{1*}, А.Л. Касенов², Б.А. Лобасенко³, Г.Б. Абдилова¹, Н.К. Ибрагимов¹

¹Университет имени Шакарима города Семей,

071412, Республика Казахстан г. Семей, ул. Глинки, 20 А

²Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,

010011, Республика Казахстан, г. Астана, пр. Женис, 62

³Кемеровский государственный университет,

650000, Российская Федерация, Кемерово, Красная улица, 6

*e-mail: madina07sh@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МНОЖИТЕЛЕЙ ЛАГРАНЖА С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ

Аннотация: Для стран ЕАЭС и в, частности для Республики Казахстан, крайне актуальным является применение технологий безотходной переработки сырья. К таким производствам относятся средние и малые мясокомбинаты. В безотходной технологии мясопродуктов производство сухих кормов имеет большую пищевую ценность по сравнению с другими кормовыми продуктами. В производстве сухих кормов на крупных предприятиях для разделения жидких неоднородных систем, широко применяется непрерывно действующее высокопроизводительное оборудование.

Однако для малых и средних предприятий, курс на развитие которых проводится в республике, необходимо такое же непрерывно действующее оборудование небольшой производительности. В связи с этим разработка такого оборудования является весьма актуальной задачей. При этом ранее проводившиеся многочисленные исследования в основном были направлены на изучение технологической и динамической стороны процесса центрифугирования машин большой производительности, применяемых в смежных отраслях промышленности, в частности, химической, тогда как для машин малой и средней производительности таких исследований проводилось не достаточно. Особенно это актуально для мясной промышленности, где процессы центрифугирования жидких систем недостаточно изучены. Это связано с тем, что мясопродукты представляют собой сложную коллоидно-дисперсную систему, состоящую из плотно прилегающей влаги и сухого остатка, обладающую большой адсорбционной способностью. Не в полной мере изучены качественные и количественные характеристики центрифугирования. Недостаточно уделялось внимание технологическим особенностям производства наряду с конструктивными особенностями оборудования. В этой связи производство сухих кормов востребовано, так как последние имеют большую пищевую ценность, превосходящую другие кормовые продукты. В производстве сухих кормов для животных процесс центрифугирования используется для отделения жира от шквары. Применение процесса центрифугирования в выделении жира из шквары обеспечивает высокое качество получаемого жира. Причём, это качество значительно выше, чем у жира, получаемое в процессах прессования и экстракции сырья.

Как следствие, значительная экономия электроэнергии в малом и среднем производстве с масштабированием на всю мясоперерабатывающую промышленность способствует улучшению общей экологической обстановки. В этой связи повышается значимость дальнейшего развития «зелёной» энергетики.

Ключевые слова: процесс, технология, технико-экономическая оптимизация, центрифуга, модель, производство, критериальные уравнения.

Введение

Актуальность выбранной темы по совершенствованию конструкции и режимов работы фильтрующей центрифуги обусловлена необходимостью внедрения технологии безотходной переработки мясного сырья с целью производства сухих кормов, обладающих высокой пищевой ценностью. Важнейшим звеном в данной переработке является технологическое оборудование для разделения жира от шквары, представленное в данной работе

фильтрующей центрифугой. Вполне понятно, что важнейшими требованиями к эксплуатации данного оборудования, в нашем случае центрифуги, являются совершенствование конструкции и оптимизация режимов работы центрифуги, что необходимо для повышения производительности и снижении удельных энергозатрат. Последнее особенно актуально в свете внедрения в общемировом масштабе ресурсосберегающих технологий и перехода к так называемой «зелёной» экономике.

Работа основана на опыте отечественных и зарубежных учёных.

Большой вклад в разработку теории и совершенствование конструкций пищевых центрифуг, технико-экономической оптимизацией работы последних внесли отечественные учёные: Г.М. Знаменский, В.И. Соколов, Е.В. Томбаев, С.М. Гребенюк, А.И. Пелеев, С.Г. Либерман, В.Г. Жуков, В.И. Аснера, Г.И. Бремера, В.А. Гельперина, И.А. Рогов, А.В. Горбатов, А.Н. Мачихин, М.Б. Азаров, У.Ч. Чоманов, Д.Т. Жайлаубаев, С.Н. Туменов, Е.С. Спандияров, А.Б. Оспанов, С.В. Федотов, А.Е. Еренгалиев, А.К. Какимов, А.Л. Касенов.

Следует отметить авторов конструкций горизонтальных шнековых центрифуг для разделения жира: Г.Е. Лимонов, В.А. Деханов (линия Я8-ФОВ-М); фильтрующих центрифуг для извлечения жира из измельчённой кости М.Л. Файвишевский, С.Г. Либерман, К.Д. Синицын, В.П. Петровский (ФМД-802К-05 в линии Я8-ФЛК); М.Л. Файвишевский, Н.П. Кузьменко (интегральная обработка мякотного сырья на усовершенствованной машине Я8-ФИБ).

К числу зарубежных учёных следует отнести: Д. Рассела, Д. Милнера, М. Кастельяно, П. Переса, И. Лодоса, Д. Грейса, И. Дьери, Е. Ненигера, И. Сторроу.

Материалы и методы исследования

В качестве исходного сырья использовали отходы производства переработки свинины в виде агломерата свиного жира, шквары, водной суспензии. Для интенсификации процесса центрифугирования свиное сырьё разогревали до температурного диапазона 75-80°C. Сырьё дробили на отдельные партии по весу, в среднем, от 400 до 1000 г по 12 навесок. В свою очередь сформировали 4 такие партии в соответствии с выбранной траекторией эксперимента. Все 4 партии предназначались для 4-х частотных режимов оборотов ротора центрифуги: 1000, 1500, 2000, 2500 мин⁻¹. Применили электродвигатель центрифуги с регулировкой частоты вращения ротора. Каждый частотный режим включал в себя 3 временных цикла центрифугирования: 5, 7, 10, 15 мин (с повтором 3 раза). При этом загрузка по массе (весу) составляла от 410 до 1000 г.

По окончании каждого опыта полученная фаза шквары взвешивалась. Все результаты ($M_{ш}$ кг) сводились в журнал наблюдений. Таким образом, каждый частотный режим состоял из 12-ти опытов. Все 4 частотных режима в сумме составили 48 опытов. Рассчитали производительность центрифуги по выходу шквары $M_{ш}$ кг/ч, производительность центрифуги по загружаемому сырью G_c кг/ч. Рассчитали потребляемую мощность электродвигателя центрифуги в кВт, $N_{эдр} \cdot 10^3$, а также значения нагрузки мощности электродвигателя за период каждого опыта $N_{эдр} \cdot 6 \cdot 10^4$ кВт·ч. Все значения замеров в опытах и полученные расчётом путём внесли в таблицу 1. Опытные и расчётные данные эксперимента.

Числовые значения опытов математически обработали. Получили математические модели эксперимента с проверкой адекватности вычислений. В результате провели оптимизацию работы центрифуги на основе математического моделирования. Практические испытания подтвердили правильность, адекватность полученной модели. (раздел «Математическая модель»).

Практические результаты эксперимента представили в виде графических зависимостей (раздел «Физическая модель»). Анализируя полученные графики, были сделаны выводы и получены алгебраические выражения полученных функций.

Продолжая физическое моделирование, используя теоремы подобия, получили ряд критериальных уравнений, описывающих энергетические и материальные зависимости при центрифугировании. Полученные критериальные уравнения позволяют достаточно просто рассчитать оптимальные значения производительности установки и затраты мощности при различных режимах эксплуатации [13].

На основании опытных и расчётных значений эксперимента были сделаны обоснованные выводы по оптимальным значениям частоты оборотов ротора и максимальных выходах шквары в процентом соотношении и по производительности. Выяснены оптимальные технико-экономические режимы работы экспериментальной фильтрующей центрифуги [13].

В ходе проведения эксперимента выяснили следующие недостатки экспериментальной центрифуги: низкую производительность; короткий вал шнека питателя; толстые стенки фильтрующего барабана; низкий процент отделения жира от шквары [13].

С целью совершенствования конструкции установки произвели следующие изменения:

1. Разработали шнековое разгрузочное устройство с целью, чтобы шнек доставал дно фильтрующего барабана для полной выгрузки.

2. Разгрузочное устройство снабдили подвижным скребком, совмещенным с рычагом, позволяющем смещать скребок и периодически снимать твердую фазу с поверхности фильтрующего барабана, направляя твердую фазу в разгрузочное устройство. При этом геометрическая ось скребка совпадает с направлением результирующих двух сил: силы центрифугирования направленной перпендикулярно поверхности барабана и поступательной силы вращения барабана [13].

С целью увеличения процента выхода шквары при центрифугировании в ходе эксперимента, увеличивая частоту вращения ротора, определили оптимальное число оборотов ротора, при котором был обеспечен максимальный выход искомого жира [13].

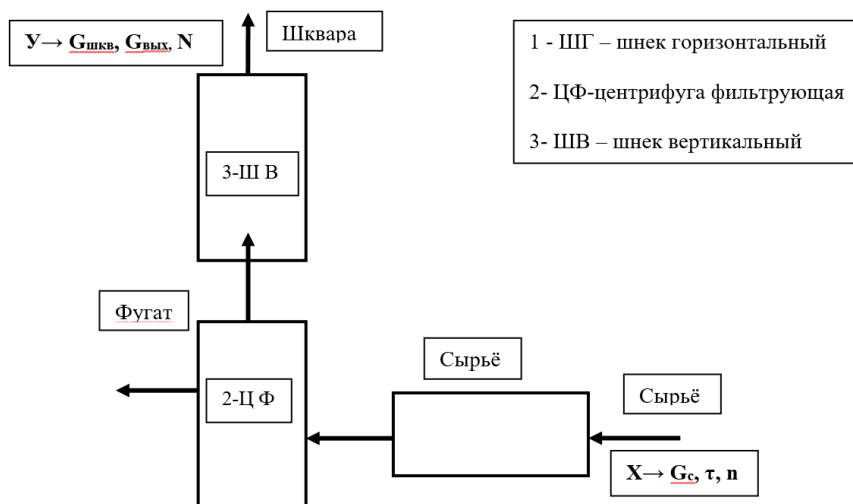


Рисунок 1 – Блок-схема экспериментальной установки

Таблица 1 – Параметры блок-схемы

Управляющие параметры X:	Управляемые параметры Y:
1. Масса загружаемого сырья. Мс, кг	1. Массовый выход шквары М _{вых} , кг.
2. Время обработки сырья. τ, с.	2. Производительность по шкваре М _ш , кг/ч.
3. Частота вращения ротора центрифуги n, с ⁻¹	3. Потребная мощность, N, кВт.

Метод применяем при оптимизации уравнений регрессии второго порядка, полученных по результатам центрального рототабельного композиционного планирования (ЦКРП) в ходе математической обработки результатов эксперимента. При этом, на независимые переменные накладываются ограничения: значения факторов $X_1 \dots X_n$ не должны выходить за область эксперимента [2].

Указанное ограничение имеет вид:

$$\varphi(X_1, \dots, X_n) = X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2 = \rho^2 \quad (1)$$

Данное выражение отображает сферу с центром в центре эксперимента и с радиусом ρ . На факторной плоскости - это окружность с радиусом ρ . Значение ρ при этом равно величине «звёздного» плеча.

Для двухфакторной задачи оптимизации функция Лагранжа примет вид:

$$F(X_1, X_2, \lambda) = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + \lambda (X_1^2 + X_2^2 - \rho^2) \quad (2)$$

Дифференцируя уравнение (2) по X_1, X_2, λ , составим систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial F(X_1, X_2, \lambda)}{\partial X_1} = b_1 + b_{12}X_2 + 2b_{11}X_1 + 2\lambda X_1 = 0 \\ \frac{\partial F(X_1, X_2, \lambda)}{\partial X_2} = b_2 + b_{12}X_1 + 2b_{22}X_2 + 2\lambda X_2 = 0 \\ \frac{\partial F(X_1, X_2, \lambda)}{\partial \lambda} = X_1^2 + X_2 - \rho^2 = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Систему (3) решаем при разных значениях радиуса ρ , который изменяется от нуля до величины звёздного плеча. В нашем случае, для двухфакторной задачи: $0 < \rho < 1,41$.

Из полученных значений выбираем одно, соответствующее условию оптимизации – минимум или максимум параметра оптимизации.

Запишем полученное ранее уравнение регрессии в кодированных переменных:

$$y = 1180 + 7,81X_1 + 11,23X_2 - 510,6X_1X_2 - 510,6X_1^2 - 518,2X_2^2 \quad (4)$$

Данное уравнение мы выше привели к канонической форме:

$$Y = 1180 - 304,4Z_1^2 - 723,5Z_2^2 \quad (5)$$

Как видно из уравнения, исследуемая поверхность представляет собой эллипсоид. В центре поверхности имеет место максимум выходного параметра, на что указывает знак «-» перед каноническими коэффициентами [2-4].

Для определения оптимальных режимов центрифугирования с максимальным выходом шквары применим метод неопределённых множителей Лагранжа. Составим функцию Лагранжа, представляющую собой сумму целевой функции и ограничения [14].

$$F(X_1, X_2, \lambda) = 1180 + 7,81X_1 + 11,23X_2 - 510,6X_1X_2 - 510,6X_1^2 - 518,2X_2^2 + \lambda(X_1^2 + X_2 - \rho^2) \quad (6)$$

Дифференцируем данное уравнение по X_1 , X_2 и λ , получим:

$$\begin{cases} \frac{\partial F(X_1, X_2, \lambda)}{\partial X_1} = 7,81 - 510,6X_2 - 1021,2X_1 + 2\lambda X_1 = 0 \\ \frac{\partial F(X_1, X_2, \lambda)}{\partial X_2} = 11,23 - 510,6X_1 - 1036,4X_2 + 2\lambda X_2 = 0 \\ \frac{\partial F(X_1, X_2, \lambda)}{\partial \lambda} = X_1^2 + X_2 - \rho^2 = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Для решения данной системы уравнений с последующим вычислением функции отклика применили интегрированный пакет MAPLEW 8. Расчёт произвели при изменении радиуса сферы в диапазоне $\rho = 1,41 \dots 0$.

Таблица 2 – Оптимизация методом неопределённых множителей Лагранжа

№ шага	ρ	X_1	X_2	λ	y
1	1,41	0	1,41	745,71	558,5
2	1,2	0,0006	1,19	745,75	569,7
3	1,0	0,0004	0,99	745,74	570,3
4	0,8	0,00026	0,79	745,70	571,5
5	0,6	0,00009	0,59	745,65	572,1
6	0,4	0,00006	0,39	745,51	572,9
7	0,2	0,00023	0,19	745,11	574,8
8	0,1	0,00031	0,09	744,44	577,4
9	0	0	0	744,49	575,7

На основании результатов следует принять режим, полученный на 8-ом шаге оптимизации $X_1 = -0,00031$ и $X_2 = 0,09$. При этом достигается максимальный выход продукта $y = 577,4\text{г}$.

Выполним переход от кодированных значений факторов к натуральным:

$$x_i = X_i \cdot \varepsilon_i + x_i^{осн}$$

x_i – натуральное значение i -того фактора;

X_i – кодированное значение i -того фактора;

ε_i – интервал варьирования i -того фактора;

$x_i^{осн}$ – натуральное значение i -того фактора.

Получаем оптимальные параметры процесса:

$x_{1.8} = -0,00031 \cdot 8 + 960 = 960$ г – масса загрузки.

$x_{2.8} = 0,09 \cdot 8 + 10 = 10,72$ мин – время центрифугирования.

Отображаем на рисунке1 поверхность отклика.

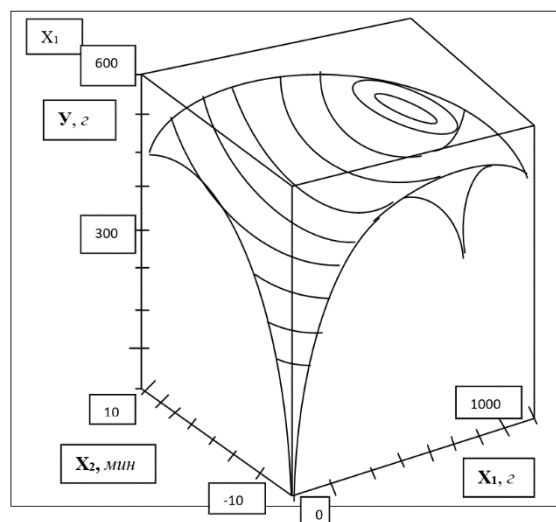


Рисунок 2 – Поверхность отклика

Выполнили многокритериальную оптимизацию по двум основным параметрам: по массе загрузки X_1 (Мс) и времени центрифугирования X_2 (т). Данные критерии находятся в «конфликте» друг с другом. Так, например, повышение массы загрузки сырья приводит в большинстве случаев к увеличению необходимого времени центрифугирования [16].

Важнейшим комплексным критерием оптимизации является обобщённая функция желательности D , которая представляет собой среднее геометрическое желательностей

отдельных параметров оптимизации [16]. В общем случае:

$$D = \sqrt[q]{d_1 \cdot d_2 \cdot \dots \cdot d_q}$$

При двух параметрах оптимизации в нашем случае:

$$D = \sqrt{d_1 \cdot d_2}$$

где d_1 ; d_2 – желательные уровни 1 и 2-ого параметров оптимизации. При этом

$0 < d < 1$. $d = 1,00$ – максимально возможный уровень оптимизации. Недопустимый уровень оптимизации: $d = 0 - 0,37$. $d = 0$ – максимально нежелательный уровень оптимизации.

Заданный уровень оптимизации: $d = 0,37$.

$d = 0,60 - 0,37$ – допустимый и достаточный уровень оптимизации.

$d = 1,00$ – максимально возможный уровень оптимизации.

В нашем случае ограничения параметров у двухсторонние, т.е. имеют вид $y_{\min} < y < y_{\max}$. Функции желательности имеет вид:

$$d_i = \exp \left| - \left(\left| y_i^l \right| \right)^n \right| \quad (8)$$

где n – положительное число.

$$y_i^l = \frac{2y_i - (y_{\max} + y_{\min})}{y_{\max} - y_{\min}} \quad (9)$$

$$y_i^l = \frac{2 \cdot 79,8 - (79,98 + 67,98)}{79,8 - 67,98} = 0,9848$$

Задались значением $0,6 < d < 0,9$ и затем рассчитали Y' .

Для оптимизации процесса величины выходных параметров преобразованы в безразмерную шкалу желательности d (d_1 – выход продукта).

Оптимальному сочетанию исследуемых факторов соответствует максимальная величина обобщенной функции желательности D .

Согласно формуле:

$$Y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ik} x_i x_k + \sum b_{ii} x_i^2 \quad (10)$$

где b_0 – свободный член уравнения, равный средней величине отклика при условии, что рассматриваемые факторы находятся на средних, «нулевых» уровнях;

i, k – индексы факторов;

b_i – коэффициенты при линейных членах;

b_{ik} – коэффициенты двухфакторных взаимодействий, показывающие, насколько изменяется степень влияния одного фактора при изменении величины другого; b_{ii} – коэффициенты квадратичных эффектов, определяющие нелинейность выходного параметра от рассматриваемых факторов.

Система уравнений для определения b_0 и b_1 для определения максимальной производительности по готовому продукту будет иметь вид:

$$\begin{cases} 79,98 = b_0 + 870b_1; \\ 67,98 = b_0 + 520b_1, \end{cases}$$

где 870 – лучшее значение для Y_1 (%); 520 – худшее значение для Y_1 (%).

Отсюда $b_0 = 50,15$ и $b_1 = 0,0346$.

В нашем случае имеют место односторонние ограничения на выходные параметры вида $Y \leq Y_{\max}$ или $Y \geq Y_{\min}$. Приемлемой формой преобразования Y в d служит экспоненциальная зависимость:

$$d = \exp[-\exp(-Y')] \quad (11)$$

где $Y' = b_0 + b_1 Y$.

Частные функции имеют вид:

$$d_1 = \exp[-\exp(50,15 - 0,0346 \cdot Y_1)] \quad (12)$$

Значения частных функций желательности для всех точек плана, определенные по этим формулам, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения частных функций и обобщенной функции желательности каждого опыта

Номер опыта	X_1	X_2	d_1	D
1	-1	-1	0,376313	0,376
2	+1	-1	0,376699	0,377
3	-1	+1	0,279602	0,280
4	-1	+1	0,381641	0,382
5	-1,41	0	0,529702	0,530
6	1	-1	0,156151	0,156
7	1	1	0,128019	0,128
8	1	1	0,010617	0,011
9	-1,41	0	0,422907	0,423
10	+1,41	0	0,109356	0,109
11	0	-1,41	0,467557	0,468
12	0	+1,41	0,133141	0,133
13	0	0	0,277623	0,278
14	0	0	0,083424	0,083
15	0	0	0,035435	0,035
16	0	0	0,035435	0,035
17	0	0	0,035435	0,035
18	0	0	0,035435	0,035

Наглядное представление значений обобщенной функции желательности представлено на рисунке 3. Обобщенная функция желательности D имеет минимальное значение в опыте 8 и составляет 0,011.

На основании данного результата оптимальными следует считать параметры: частота ротора центрифуги $n = 2000$ с-1, при этом время процесса составляет $t = 600$ с.

При этом достигается максимальный выход продукта $M_{ш} = 0,1210$ кг/с при массе выхода $M_{вых} = 0,0283$ кг/с за минимальное время процесса $t = 600$ с [16].

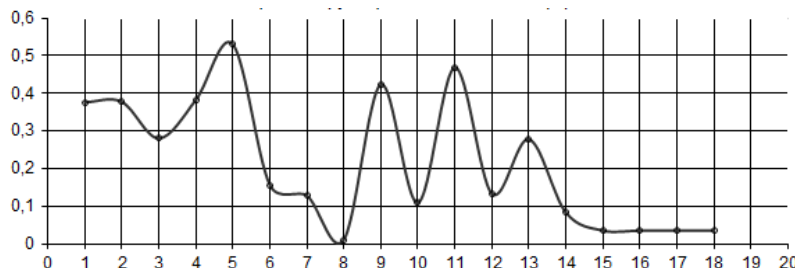


Рисунок 3 – График обобщенной функция желательности (D)

Таким образом, оптимизация на основе математической модели выполнена. Адекватность оптимизации на основе математической модели подтверждена опытными данными [16].

Результаты и обсуждение

Данная работа внесла свой вклад в научно-техническую область знаний: в прикладной раздел науки о процессах и аппаратах пищевых (мясоперерабатывающих) производств. Вклад данной работы состоит в дальнейшем развитии физического и математического моделирования, а также в некоторых аспектах системной и экономической оптимизации. Также следует отметить практическое применение математического метода множителей Лагранжа для определения оптимальных временных и кинетических параметров процесса центрифугирования в комплексе с фильтрованием.

Оптимизация процесса центрифугирования при получении шквары, в частности, состояла в обеспечении такого режима работы, при котором абсолютный выход шквары $G_{вых}$ (г) и процентная доля $\Delta Ш$ (%) будут максимально возможными при оптимальном (минимальном) времени центрифугирования t (мин), а также при относительно небольшой затраченной мощности $N_{эдв}$.

Рассчитали и определили оптимальный режим с позиций математической обработки экспериментальных данных. Выбирали параметр оптимизации y ($G_{вых}$), зависящий от факторов $X_1, X_2, \dots, X_n$. Задача оптимизации: определение таких значений факторов, при которых этот параметр достигает экстремума (минимума или максимума).

Параметр оптимизации y (критерий оптимизации, целевая функции) количественно характеризует исследуемый процесс.

В нашем случае в качестве целевой функции была выбрана производительность центрифуги по выходу шквары $M_{вых}$. Факторы, определяющие параметр оптимизации y – это масса загрузки сырья m (X_1) время центрифугирования t (X_2).

На основе математической модели выполнена оптимизация процесса центробежной фильтрации. Как видно из полученных графиков и вычислений, наибольший выход шквары наблюдался при частоте вращения ротора центрифуги $n = 2000$ об/мин.

Наибольшая производительность по выходу шквары для всех режимов по частоте вращения ротора центрифуги наблюдалась при времени обработки сырья $t = 600$ с. При этом, при частоте $n = 2000$ об/мин была получена максимальная производительность $M_{ш} = 1,133$ г/с (4,78 кг/ч).

Заключение

Математическая и физико-математическая обработка с проверкой адекватности вычислений опытных данных позволила получить требуемые математические и физические модели процессов центробежного осаждения с одновременной фильтрацией. Анализ теоретических и практических результатов позволил определить оптимальные технико-

экономические режимы работы центрифуги. Выполнена практическая реализация результатов эксперимента и расчётов, включающая, системную и экономическую оптимизация работы всей комплексной установки, а также инженерную методику расчётов последней. Таким образом, поставленные цели и задачи исследовательской работы решены.

Список литературы

1. Мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаевтың Қазақстан халқына Жолдауы.01.09.2023. <https://primeminister.kz/ru/news/reviews/realizaciya-poslaniya-prezidenta-rk-v-apk-uvelichenie-investiciy-i-rost-proizvodstva-produkcii-zhivotnovodstva>10.12.2019.
2. Соколов В.И. Основы расчета и конструирования деталей и узлов пищевого оборудования / В.И. Соколов. – М.: Машиностроение, 1970. – 443 с.
3. Соколов В.И. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств / В.И. Соколов. – М.: Колос, 1992. – 400 с.
4. Соколов В.И. Современные промышленные центрифуги / В.И. Соколов. – М.: Машиностроение, 1967. – 522 с.
5. Соколов В.И. Центрифуги. Процессы центрифугирования и современные конструкции центрифуг / В.И. Соколов. – М.: Машиностроение, 1980. – 320 с.
6. Соколов В.И. Центрифугирование / В.И. Соколов. – 1976. – М.: Химия, 1986 – 485 с.
7. Дытнерский С.А. Процессы и аппараты химической технологии / С.А. Дытнерский. – 2 изд. – М.: Химия, 2002 – 226 с.
8. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М., Химия, 1973. – 752 с.
9. Пелеев А.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности / А.И. Пелеев. – М.: Агропромиздат, 1983. – 715 с.
10. Фёдоров Н.Е. Методы расчётов процессов и аппаратов пищевых производств. – Н.Е. Федоров. – М.: Пищевая промышленность. – 1967. – 325 с.
11. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии / Ю.И. Дытнерский. – М.: Химия, 1991. – 194 с.
12. Павлов Н.Е. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / Н.Е. Павлов, М.И. Романков, А.Н. Носков. – Л.: Химия, 1981. – 514 с.
13. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов / А.В. Горбатов и др. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 296 с.
14. Расчет кинематических параметров процесса центрифугирования / М.К. Шаяхметова и др. // Вестник университета имени Шакарима. Серия технических науки. – 2023. – № 1(10). – С. 5-11.
15. Усовершенствование центрифуги для разделения жира от шквары / М.К. Шаяхметова и др. // Вестник Алматинского технологического университета. – 2023. – № 2(10). – С. 56-63.
16. Критериальное уравнение для оптимизации режимов работы фильтрующей центрифуги / М.К. Шаяхметова и др. // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия «Технические науки и технологии». – 2024. – № 1(146). – С 132-150.

References

1. Memleket basshysy Qasym-Zhomart Toqaevtyñ Qazaqstan khalkyna Zholdauy.01.09.2023. <https://primeminister.kz/ru/news/reviews/realizaciya-poslaniya-prezidenta-rk-v-apk-uvelichenie-investiciy-i-rost-proizvodstva-produkcii-zhivotnovodstva>10.12.2019. (In Kazakh).
2. Sokolov V.I. Osnovy rascheta i konstruirovaniya detalei i uzlov pishchevogo oborudovaniya / V.I. Sokolov. – M.: Mashinostroenie, 1970. – 443 s. (In Russian).
3. Sokolov V.I. Osnovy rascheta i konstruirovaniya mashin i apparatov pishchevykh proizvodstv / V.I. Sokolov. – M.: Kolos, 1992. – 400 s. (In Russian).
4. Sokolov V.I. Sovremennye promyshlennye tsentrifugi / V.I. Sokolov. – M.: Mashinostroenie, 1967. – 522 s. (In Russian).
5. Sokolov V.I. Tsentrifugi. Protsessy tsentrifugirovaniya i sovremennye konstruktсии tsentrifug / V.I. Sokolov. – M.: Mashinostroenie, 1980. – 320 s. (In Russian).
6. Sokolov V.I. Tsentrifugirovanie / V.I. Sokolov. – 1976. – M.: Khimiya, 1986 – 485 s. (In Russian).
7. Dytnerskii S.A. Protsessy i apparaty khimicheskoi tekhnologii / S.A. Dytnerskii. – 2 izd. – M.: Khimiya, 2002 – 226 s. (In Russian).

8. Kasatkin A.G. Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoi tekhnologii / A.G. Kasatkin. – M., Khimiya, 1973. – 752 c. (In Russian).
9. Peleev A.I. Tekhnologicheskoe oborudovanie predpriyatii myasnoi promyshlennosti / A.I. Peleev. – M.: Agropromizdat, 1983. – 715 c. (In Russian).
10. Fedorov N.E. Metody raschetov protsessov i apparatov pishchevykh proizvodstv. – N.E. Fedorov. – M.: Pishchevaya promyshlennost'. – 1967. – 325 s. (In Russian).
11. Dytnerskii YU.I. Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoi tekhnologii / YU.I. Dytnerskii. – M.: Khimiya, 1991. – 194 s. (In Russian).
12. Pavlov N.E. Primery i zadachi po kursu protsessov i apparatov khimicheskoi tekhnologii / N.E. Pavlov, M.I. Romankov, A.N. Noskov. – L.: Khimiya, 1981. – 514 s. (In Russian).
13. Strukturno-mekhanicheskie kharakteristiki pishchevykh produktov / A.V. Gorbato i dr. – M.: Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1982. – 296 s. (In Russian).
14. Raschet kinemacheskikh parametrov protsessa tsentrifugirovaniya / M.K. Shayakhmetova i dr. // Vestnik universiteta imeni Shakarima. Seriya tekhnicheskikh nauk. – 2023. – № 1(10). – S. 5-11. (In Russian).
15. Uovershenstvovanie tsentrifugi dlya razdeleniya zhira ot shkvary / M.K. Shayakhmetova i dr. // Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2023. – № 2(10). – S. 56-63. (In Russian).
16. Kriterial'noe uravnenie dlya optimizatsii rezhimov raboty fil'truyushchei tsentrifugi / M.K. Shayakhmetova i dr. // Vestnik Evraziiskogo natsional'nogo univeriteta imeni L.N. Gumileva. Seriya «Tekhnicheskie nauki i tekhnologii». – 2024. – № 1(146). – S 132-150. (In Russian).

М.К. Шаяхметова^{1*}, А.Л. Касенов², Б.А. Лобасенко³, Г.Б. Абдилова¹, Н.К. Ибрагимов¹

¹Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,

071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А

²С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,

010011, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Жеңіс даңғылы, 62

³Кемерово мемлекеттік университеті,

650000, Ресей Федерациясы, Кемерово, Қызыл көше, 6

*e-mail: madina07sh@mail.ru

ЦЕНТРИФУГАЛАУ ПРОЦЕСІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ МАҚСАТЫНДА ЛАГРАНЖ КӨБЕЙТКІШ ӘДІСІН ҚОЛДАНУ

ЕАЭО елдері үшін, атап айтқанда Қазақстан Республикасы үшін шикізатты қалдықсыз өңдеу технологияларын қолдану өте өзекті болып табылады. Мұндай өндірістерге орта және шағын ет комбинаттары жатады. Ет өнімдерінің қалдықсыз технологиясында құрғақ жем өндірісі басқа жем өнімдерімен салыстырғанда тағамдық құндылығы жоғары. Ірі кәсіпорындарда құрғақ жем өндірісінде сұйық гетерогенді жүйелерді бөлу үшін үздіксіз жұмыс істейтін жоғары өнімді жабдықтар кеңінен қолданылады.

Алайда, даму бағыты республикада жүргізіліп жатқан шағын және орта кәсіпорындар үшін өнімділігі төмен үздіксіз жұмыс істейтін жабдықтар қажеттілігі туындап отыр. Осыған байланысты мұндай жабдықты әзірлеу өзекті міндет болып табылады. Бұл ретте бұрын жүргізілген көптеген зерттеулер негізінен аралас өнеркәсіп салаларында, атап айтқанда химиялық салаларда қолданылатын үлкен өнімділігі бар машиналарды центрифугалау процесінің технологиялық және динамикалық жағын зерттеуге бағытталған, ал шағын және орта өнімділігі бар машиналар үшін мұндай зерттеулер жеткіліксіз болды. Бұл әсіресе сұйық жүйелерді центрифугалау процестері жақсы зерттелмеген ет өнеркәсібіне қатысты. Себебі ет өнімдері-бұл үлкен адсорбциялық қабілеті бар тығыз ылғал мен құрғақ қалдықтардан тұратын күрделі коллоидты-дисперсті жүйе. Центрифугалаудың сапалық және сандық сипаттамалары толық зерттелмеген. Жабдықтың құрылма ерекшеліктерімен қатар өндірістің технологиялық ерекшеліктеріне жеткілікті көңіл бөлінбеді. Осыған байланысты құрғақ жем өндірісі сұранысқа ие, өйткені соңғысы басқа жем өнімдерінен жоғары тағамдық құндылыққа ие. Құрғақ мал азығын өндіруде центрифугалау процесі майды шыжықтан бөлу үшін қолданылады. Майдың бөлінуінде центрифугалау процесін қолдану алынған майдың жоғары сапасын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, бұл сапа шикізатты пресстеу және экстракциялау процестерінде алынған майға қарағанда әлдеқайда жоғары.

Нәтижесінде, барлық ет өңдеу өнеркәсібіне масштабтау арқылы шағын және орта өндірісте электр энергиясын айтарлықтай үнемдеу жалпы экологиялық жағдайды жақсартуға ықпал етеді. Осыған байланысты «жасыл» энергетиканы одан әрі дамытудың маңыздылығы артып келеді.

Түйін сөздер: процесс; технология; техникалық-экономикалық оңтайландыру; центрифуга; модель; өндіріс; критерийлік теңдеулер.

M. Shayakhmetova¹, A. Kasenov², B. Lobasenko³, G. Abdilova¹, N. Ibragimov¹

¹Shakarim University of Semey,

071412, Republic of Kazakhstan, Semey, st. Glinka, 20A

²S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University,

010011, Republic of Kazakhstan, Astana, Zhenis avenue, 62

³Kemerovo State University,

650000, Russian Federation, Kemerovo, Krasnaya Street, 6

*e-mail: madina07sh@mail.ru

APPLICATION OF THE LAGRANGE MULTIPLIER METHOD IN ORDER TO OPTIMIZE THE CENTRIFUGATION PROCESS

For the EAEU countries and, in particular, for the Republic of Kazakhstan, the use of waste-free processing of raw materials is extremely relevant. Such industries include medium and small meat processing plants. In the waste-free technology of meat products, the production of dry feed has a high nutritional value compared to other feed products. In the production of dry feed at large enterprises, continuously operating high-performance equipment is widely used to separate liquid heterogeneous systems.

However, for small and medium-sized enterprises, the development course of which is carried out in the republic, the same continuously operating equipment of low productivity is necessary. In this regard, the development of such equipment is a very urgent task. At the same time, numerous previous studies were mainly aimed at studying the technological and dynamic side of the centrifugation process of high-performance machines used in related industries, in particular, chemical, whereas such studies were not carried out for small and medium-sized machines. This is especially true for the meat industry, where the processes of centrifugation of liquid systems are insufficiently studied. This is due to the fact that meat products are a complex colloidal-dispersed system consisting of tightly adjacent moisture and dry residue, which has a high adsorption capacity. The qualitative and quantitative characteristics of centrifugation have not been fully studied. Insufficient attention was paid to the technological features of production along with the design features of the equipment. In this regard, the production of dry feed is in demand, since the latter have a high nutritional value superior to other feed products. In the production of dry animal feed, the centrifugation process is used to separate fat from flakes. The use of the centrifugation process in the separation of fat from the flakes ensures high quality of the resulting fat. Moreover, this quality is much higher than that of fat obtained in the processes of pressing and extraction of raw materials.

As a result, significant energy savings in small and medium-sized production with scaling to the entire meat processing industry contribute to improving the overall environmental situation. In this regard, the importance of further development of «green» energy is increasing.

Key words: process; technology; technical and economic optimization; centrifuge; model; production; criterion equations.

Сведения об авторах

Мадина Канатовна Шаяметова* – докторант образовательной программы 8D07101 «Технологические машины и оборудование»; Университета имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: madina07sh@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5133-4348>.

Амиржан Леонидович Касенов – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств». Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина; Республика Казахстан; e-mail: amirzhan-1@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7715-1128>.

Борис Анатольевич Лобасенко – доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленный дизайн», Кемеровский государственный университет, Россия, г. Кемерово; e-mail: lobasenko@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0245-7904>.

Галия Бекеновна Абдилова – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой «Технологическое оборудование», Университета имени Шакарима г. Семей, Республика Казахстан; e-mail: abdilova1979@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6647-6314>.

Надир Кадырович Ибрагимов – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Технологическое оборудование», Университета имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: ibragimnk@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9607-823X>.

Авторлар туралы мәліметтер

Мадина Канатовна Шаяхметова* – 8D07101 «Технологиялық машиналар және жабдықтар» білім беру бағдарламасының ізденушісі; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: madina07sh@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5133-4348>.

Амиржан Леонидович Қасенов – техника ғылымдарының докторы, «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының профессоры; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: amirzhan-1@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7715-1128>.

Борис Анатольевич Лобасенко – техника ғылымдарының докторы, «Өнеркәсіптік дизайн» кафедрасының профессоры, Кемерово мемлекеттік университеті, Ресей Федерациясы; e-mail: lobasenko@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0245-7904>.

Галия Бекеновна Абдилова – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Технологиялық жабдықтар» кафедрасының меңгерушісі, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: abdilova1979@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6647-6314>.

Надир Кадырович Ибрагимов – техника ғылымдарының кандидаты, «Технологиялық жабдықтар» кафедрасының аға оқытушысы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: ibragimnk@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9607-823X>.

Information about the authors

Madina Shayakmetova* – 8D07101 Co-applicant of the educational program «Technological Machines and Equipment»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: madina07sh@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5133-4348>.

Amirzhan Kassenov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Technology of food and processing industries»; S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Republic of Kazakhstan; e-mail: a.kassenov@kazatu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7715-1128>.

Boris Lobasenko – Doctor of Technical Sciences, Professor, Industrial Design Department, Kemerovo State University, Russian Federation; e-mail: lobasenko@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0245-7904>.

Galiya Abdilova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of «Technological Equipment», Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: abdilova1979@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6647-6314>.

Nadir Ibragimov – candidate of Technical Sciences, senior lecturer «Technological Equipment» Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: ibragimnk@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9607-823X>.

Поступила в редакцию 03.12.2024
Поступила после доработки 19.12.2024
Принята к публикации 20.12.2024