

УДК 631.3:636

UDC 631.3:636

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

05.20.01 Technology and mechanization of agriculture (technical sciences)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫХОДА СОЕВОГО БЕЛКА В ЭКСТРАГЕНТ ПРИ ИСТИРАНИИ ЗЕРНА СОИ В ЗАМОЧЕННОМ ВИДЕ

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF THE OUTPUT OF SOY PROTEIN INTO THE EXTRAGENT WHEN GRINDING SOYBEAN GRAIN IN THE SOAKED FORM

Фролов Владимир Юрьевич
д.т.н., профессор
Класнер Георгий Георгиевич
к.т.н., доцент
Scopus Author ID: 57209716710
РИНЦ SPIN-код: 8043-8389
egor.klasner.91@mail.ru

Frolov Vladimir Yuryevich
Doctor of Technical Sciences, Professor
Klasner Georgy Georgiyevich
Cand.Tech.Sci., docent
Scopus Author ID: 57209716710
RSCI SPIN-code: 8043-8389
egor.klasner.91@mail.ru

Кузнецов Владимир Иванович
к.т.н., доцент

Kuznetsov Vladimir Ivanovich
Cand.Tech.Sci., docent

Кремянский Владислав Франтишекович
к.т.н., доцент
Пашинский Владимир Сергеевич
Магистрант
Кубанский государственный аграрный университет, Россия, 350044, Краснодар, Калинин, 13

Kremyansky Vladislav Frantishekovich
Cand.Tech.Sci., docent
Pashinsky Vladimir Sergeyeovich
student
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В данной работе рассмотрена проблема производства высокобелковых кормов на основе соевого зерна. Представлена установка для переработки соевого зерна. Представлены исследования по изучению физических свойств разбухшего соевого зерна и изучение процесса приготовления соевого молока

In this article, we consider the problem of the production of high-protein feeds based on soybean consumers. We also introduce a soy consumer processing plant. Studies are presented on the study of the physical properties of swollen soybean consumption and the study of the process of preparation of soy milk

Ключевые слова: ЗЕРНО СОИ В ЗАМОЧЕННОМ ВИДЕ, ИСТИРАЕМОСТЬ ЗЕРНА, КРИВАЯ БИЕНИЯ, МЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Keywords: SOYBEAN GRAIN IN THE SOAKED FORM, GRAIN ABRASION, RUN-OUT CURVE, MECHANICAL CHARACTERISTIC

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-181-028>

ВВЕДЕНИЕ

Основной проблемой в кормопроизводстве современного животноводства является производство высокобелковых кормов. Соя это главный поставщик растительного белка, а кормовая ценность составляет 1,45 единицы. Данная растительная культура применяется в рационах кормления КРС, свиней, коз, и др. сельскохозяйственных животных в обработанном виде, при этом, соя имеет отличительное качество в

<http://ej.kubagro.ru/2022/07/pdf/28.pdf>

экономическом смысле, а именно низкую стоимость белка в сравнении с дорогостоящим животным белком.

Жидкая суспензия или иначе именуемая как соевое молоко приготовленная к скармливанию сельскохозяйственным животным как признают специалисты не уступает настоящему коровьему молоку. Но из-за отсутствия экономичного и универсального оборудования для переработки соевого зерна на корм животных в личных хозяйствах и животноводческих предприятиях применение соевого молока в рационах животных ограничено.

Возникшая проблема требует решения путем создания технологии приготовления соевого концентрата для кормов сельскохозяйственных животных.

Целью настоящих исследований является обоснование конструктивно-режимных параметров измельчителя замоченного зерна сои для увеличения эффективности процесса приготовления высокопротеиновых кормов.

Материалы и методы исследования.

Техническая новизна предлагаемого устройства подтверждена патентам на полезную модель РФ № 203493 U1 от 07.04.2021г. «Устройство для измельчения зерна бобовых культур в замоченном виде», патентом на изобретение RU № 2 751 480 C1 от 14.07.2021 «Установка для получения белковой суспензии», позволяющее в перерабатывать зерна сои получать соевое молоко, соевый творог «Тофу», устройство позволяет объединить целый ряд технологических операций.

Был проведен ряд опытов с замачиванием зерна сои в воде. Получены экспериментальные физические величины изменения массы, объема, длины, влажности, плотности и прочности замоченного зерна сои в зависимости от количества времени, проведенного в воде. В результате было получено оптимальное время для замачивания сои. Во время

проведения экспериментов контролируемые факторы менялись в диапазонах: ареометрическое давление –700...720 мм. рт.ст. температура окружающего воздуха – 16...23°C, относительная влажность воздуха 60...80%. Данные исследования были проведены в лабораторных условиях с помощью экспериментальной установки.

В разрабатываемой технологии переход белка в эмульсию основан на физико-химических процесса диффузии органических соединений, в качестве реагента выступает питьевая вода.

Критерий оптимизации, а именно выход белка был выбран для процесса измельчения замоченного соевого зерна, который зависит от следующих факторов: зазор между подвижным и неподвижным дисками измельчителя, частота вращения подвижного диска, температура экстрагента, соотношение гидромодуля. Благодаря полученным результатам были построены зависимости из них были выбраны подходящие параметры: частоты вращения абразивного подвижного диска, зазор между абразивными дисками, гидромодуль.

При экстракции наибольший выход белка происходит при использовании сухого зерна сои тонкого помола (0,35...0,5 мм) которое должно быть предварительно измельчено. Из-за того, что технология производства «сухим способом» энергоемка, то в небольших животноводческих предприятиях данная технология мало востребована из-за своей дороговизны. Для того чтобы снизить затраты на производство необходимо уменьшить энергоемкость измельчения зерна сои путем использования предварительной обработки зерна, данная технологическая схема (рисунок 1) представлена в виде безотходного производства кормов на основе зерен сои, суть которой заключается в предварительном замачивании зерен.

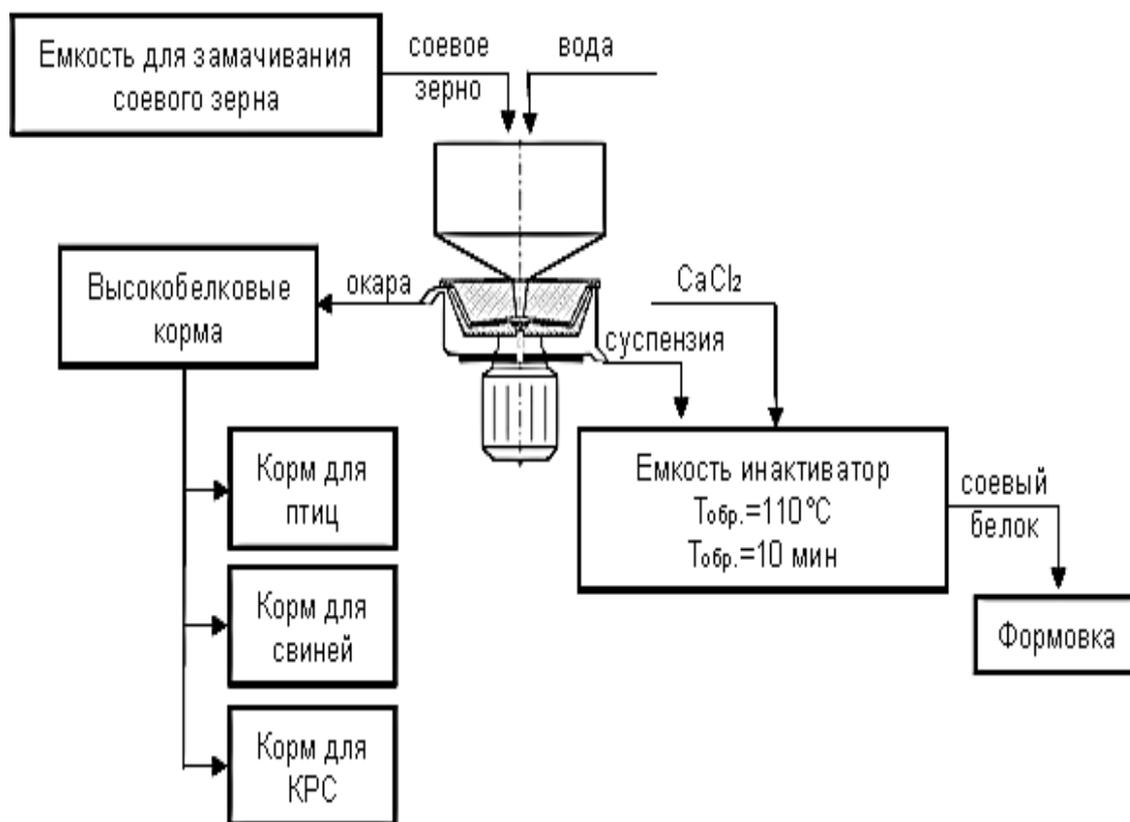


Рисунок 1 – Технология приготовления соевой молочно-белковой основы для концентрированных кормов.

Для проведения многофакторных экспериментов был изготовлен экспериментальный образец (рисунок 2), цель данного образца экспериментально обосновать параметры измельчителя.



Рисунок 2 – Схема и общий вид исследования процесса производства кормов на основе соевого протеина, проводимого на экспериментальном комплексе.

При учете проведенных ранее исследованиях и ранжированию факторов были определены основные факторы представление в таблице 1.

Таблица 1 – Факторов и уровней варьирования

Уровень	Факторы			
	Угловая скорость вращения нижнего диска с нанесенным абразивом ω , рад/с	Величина зерна абразива R_a , мкм	Угол направления бороздок α	Зазор между дисками h , мм
	X_1	X_2	X_3	X_4
Верхний (+1)	172	50	$\alpha-120^\circ$	5
Основной (0)	169	250	$\alpha-90^\circ$	4
Нижний (-1)	141	450	$\alpha-60^\circ$	3

Исследовательская работа была разделена на два уровня и проводилась на экспериментальном измельчителе замоченного зерна сои в лабораторно-производственных условиях.

В первом этапе было проведено замачивание в воде соевых зерен и изучения их физических свойств, и были установлены следующие зависимости:

- 1) Изменения плотности (ρ).
- 2) Прочность разбухшего зернового материала (J).
- 3) Изменение влажности (W) и массы (m) от степени набухания.
- 4) Выход соевого протеина в экстракт (G) и его качество.
- 5) Настройки гидромодуля (n) количества порций воды подаваемой при истирании зерна.
- 6) Температуры (t) подаваемой воды.

Второй этап основан на оптимизации процесса производства соевого молока и изучения его основных принципов. Была поставлена задача определения основных конструктивных параметров для

измельчителя сои, и определения ключевых свойств разрабатываемого устройства.

С помощью экспериментов были решены следующие задачи:

1. Были определены физические свойства замоченного соевого зерна
2. Также изучалась экстракция белка в эмульсию, что является качественным показателем.

Выбранные факторы, влияющие на измельчения соевого зерна возможно изменять на экспериментальной благодаря чем происходит выход белка.

Это факторы такие как частота вращения абразивного диска (углы пересечения с бороздками $\alpha-60^\circ$, $\alpha-90^\circ$, $\alpha-120^\circ$) которая устанавливается в 3 положениях, также меняется зазоры между верхним абразивным конусом и крышкой измельчителя (в процессе эксперимента устанавливался зазор между дисками 3, 4, и 5 мм.). Шероховатость абразивной поверхности дисков достигалась путем нанесения на клей абразивного камня корунд, величина шероховатости была выбрана $R_a = 50$, $R_a = 250$, $R_a = 450$ мкм.

Измерения энергетических характеристик проводилось с помощью прибора К-505, а измерения выхода белка с помощью стеклянных колб и электронных весов ВЛТК-500.

Также была проведены регулировки оборотов вала двигателя при помощи реостата, находящегося в экспериментальной установке, также в измельчитель подавалась вода температура которой измерялась с помощью бесконтактного термометра. Для вычисления объёма, получаемого белкового экстракта, использовался мерный стакан.

Для эксперимента выбрали распространённый в южном федеральном округе сорт сои «ВИЛАНА». Из зернового материала были взяты 6 малых порций, каждая из которых состояла из 10 зерен.

- 1) Длина соевого зерна составляла 6 мм,
- 2) Масса 10 зерен сои 1,767 гр,
- 3) Объем 10 зерен составил 1,4 мл (объем зерна высчитывался по вытесненной жидкости из мерного стакана после погруженного в него).

Экспериментальные исследования проходили при комнатной температуре (20–22 °С), а начальная влажности зерна была 10 %. По полученным экспериментальным данным были построены следующие зависимости: изменения массы (m), объема (v) и длины (L) зерна от продолжительности замачивания (рисунок 3.5 – 3.6).



Рисунок 3 – Зависимость изменения массы (m), объема (v) и длины (L) зерна от продолжительности замачивания



Рисунок 4 – Зависимость изменения геометрических размеров зерна сои от (времени) степени набухания

При уплотнения замоченного зерна сои в которой присутствует большое количество воды дальнейшее сжатие невозможно.



Рисунок 5 – Установление зависимости разрушения разбухших зерен путем приложенного давления

Для определения плотности материала мы воспользуемся пикнометрическим методом исходя из физических свойств материала.

Проведения исследования.

Для проведения опытов были отобраны 6 выборок соевого зерна по 10 штук в каждой. Средние физические значения зерен составили:

1. Длина зерен 6 мм,
2. Масса 10 зерен 1.767 мг,
2. Объём десяти зерен 1.4 мл при абсолютной влажности 10%.

Опытные исследования проводились при температуре окружающей среды (21–23 °С). Был построен график зависимости увеличения массы (m), объема (v) и длины (L) зерна от времени выдержки (рис. 6) на основе опытных данных.

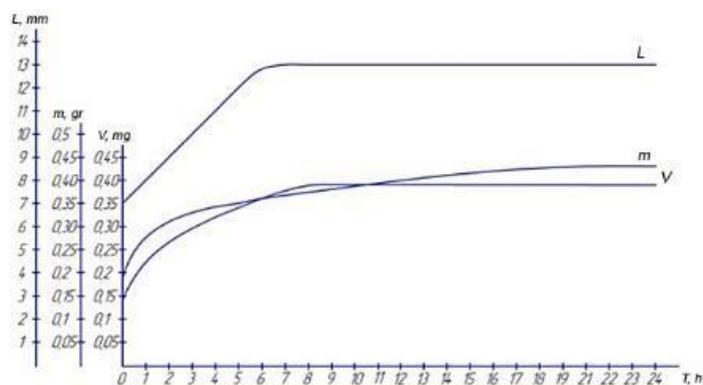


Рисунок 6 – график зависимости увеличения массы (m), объема (v) и длины (L) зерна от времени замачивания.

Проведя анализ данного графика (рис. 6) мы выяснили, оптимальные значения времени (T) замачивания зерна составляет 6–7 часов (точка опрокидывания на рис. 3). При 6-часовом замачивании длина, масса и объем зерна составляют $L = 13$ мм, $m = 0,36$ гр., $V = 0,34 \cdot 10^{-6}$ м³. Дальнейшее увеличение времени замачивания зерна сои нецелесообразно, так как при замачивании зерна в течение суток $m = 0,434$ гр., $V = 0,38 \cdot 10^{-6}$ м³, геометрические параметры зерна сои не изменяются.

Для расчета плотности зерна необходимо использовать значения изменения массы и объёма соевого зерна от времени проведенного в воде. (рис. 4). Когда мы увеличиваем время замачивания до 7 часов снижается плотность зерен и составляет $\rho = 1,08$ г/мл. Продолжать увеличивать время выдержки нецелесообразно, так как в дальнейшем снижение плотности становится несколько устойчивым.

Таблица 2 – Изменение плотности зерна в зависимости от времени выдержки в воде

Index	Время замачивания зерна сои T, h								
	0	1	2	3	4	5	6	7	24
m, gr	0,18	0,28	0,31 7	0,32	0,34	0,34	0,36	0,37	0,43
V, ml	0,14	0,24	0,26	0,3	0,3	0,32	0,34	0,34	0,38
ρ . Gr/ml	1,26	1,14	1,22	1,07	1,12	1,08	1,06	1,08	1,14

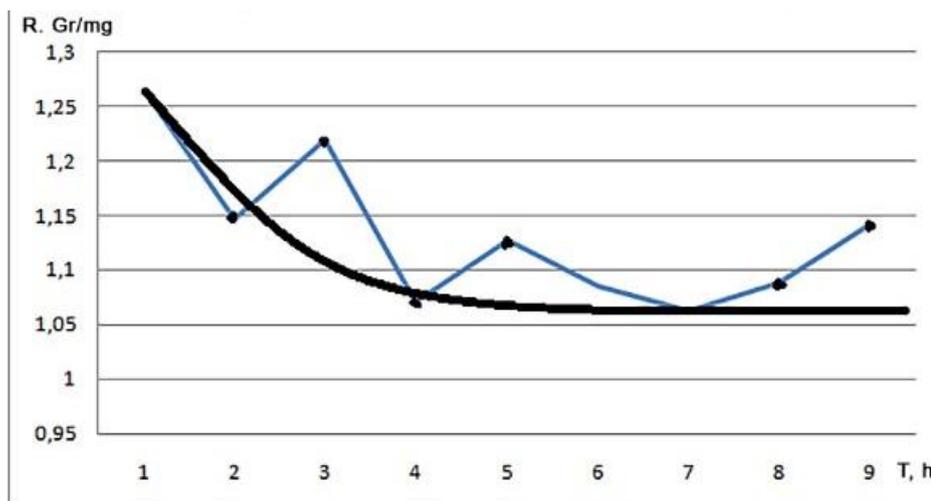


Рисунок 7 – График зависимости изменения плотности соевых зерен от времени замачивания в воде.

Для увеличения производительности работы измельчителя при работе с замоченным зерном исследовали качества готовой продукции, а также технологические параметры процесса получения соевого молока и творога.

Мы построили графики зависимости потребления воды в смеси при температуре реагента 55–60°C (рис. 7).

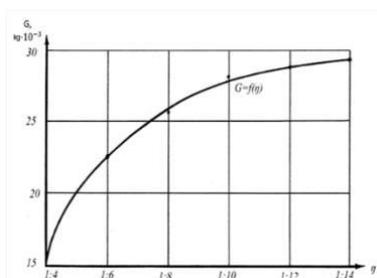


Рисунок 8 – Зависимость выхода белка в Г экстрагента от водной нагрузки температуры t

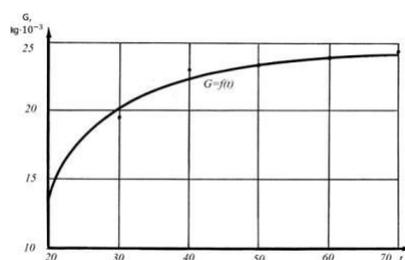


Рисунок 9 – Зависимость выхода η экстрагента от температуры t

При анализе графика (рисунок 8) мы приходим к выводу что реагент насыщается водой в отношении 1:10, а при дальнейшем увеличении ставится более устойчивым.

Критерии оптимизации были определены следующие:

1. Выход белка в экстрагент – G (отклик Y_3),
2. Производительность измельчителя – Q (отклик Y_2) и
3. Энергозатраты – N кВт (отклик Y_1).

Были выбраны оптимальные значения и рассчитаны уравнения регрессии второго порядка (программа Statistica), представление в:

$$Y_3 = -83,456 + 0,023 \omega + 0,01736 R_a - 8,6184 \alpha - 3,997 h + 0,000006 \omega R_a - 0,000032 \omega \alpha - 0,001 \omega h + 0,0007 R_a \alpha - 0,016 R_a h - 0,026 \alpha h - 0,00007 R_a^2 + 1,080 \alpha^2 + 1,1114 h^2$$

и раскодированном виде:

$$G = 21,3520 + 3,924\omega + 5,45213R_a + 4,83156\alpha - 5,2942h + 0,0009\omega R_a + 0,0005\omega\alpha - 0,00008\omega h + 0,001R_a\alpha - 0,0007R_a h + 0,00008\alpha h - 0,037\omega^2 - 0,0521R_a^2 - 0,0476\alpha^2 + 0,051h^2$$

Были получены адекватные математические модели по ним мы строили координаты оптимума и поверхности отклика.

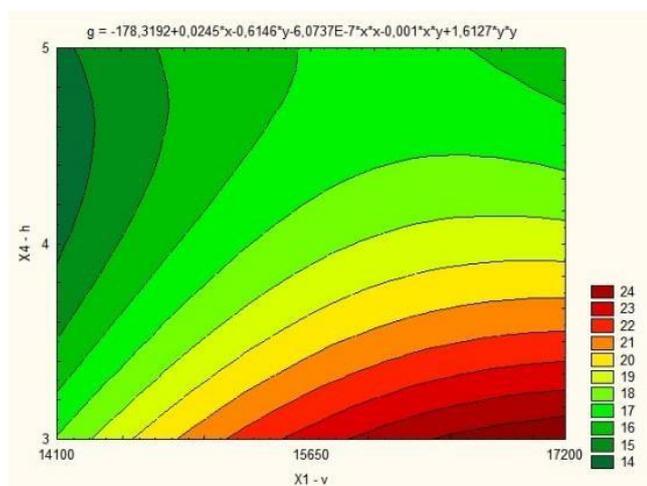


Рисунок 10 – Сечение поверхности выхода белка в экстрагент на плоскость $X_1(\omega)$ от $X_4(h)$

Из-за данных представленных на рисунке 10 видно, что количество экстрагента, полученного из выхода белка (G) с 14 гр. до 24 гр. и более, так как скорость вращения абразивного диска увеличивается на 31 рад/с. Данный факт объясняется тем что, удлинив траекторию движения исследуемого материала за счет увеличения скорости кругового вращения абразивного диска, таким было значительно улучшено качество измельчения.

Выход белка максимален (G) и происходит при следующих технологических настройках:

- 1) Частота вращения абразивного диска $\omega=156\dots170$ рад/с.
- 2) Величина зазора между абразивными дисками $h=3\dots3.2$ мм.

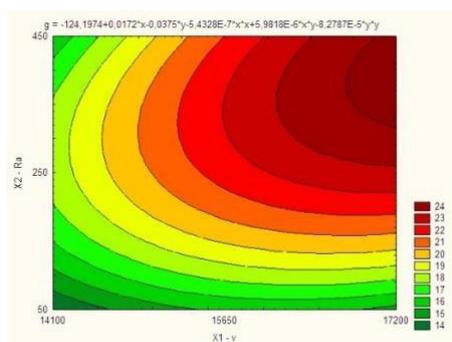


Рисунок 11 – Сечение поверхности выхода белка в экстрагент на плоскость $X_1(\omega)$ от $X_2(Ra)$

Из данных полученных с рисунка 11 мы делаем вывод, что чем крупнее зерно попадающее на шлифующий диск (Ra) тем больше выход белковой массы. Происходит данный процесс из-за увеличения деформации рабочего материала. Так удалось доказать, что при увеличении абразива (Ra) с 260 до 450 мкм выход белка (G) увеличился с 23 до 24 гр., исходя из этого оптимальная величина абразива является 450 мкм.

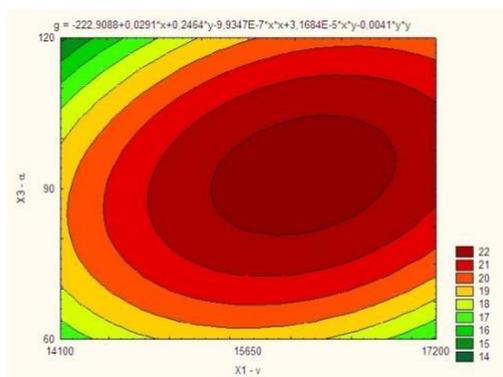


Рисунок 12 – Сечение поверхности выхода белка в экстрагент на плоскость $X_1(\omega)$ от $X_3(\alpha)$

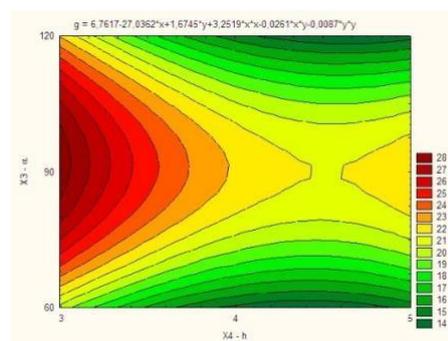


Рисунок 13 – Сечение поверхности выхода белка в экстрагент на плоскость $X_4(h)$ от $X_3(\alpha)$

Подводя итог анализа (рисунки 12 и 13) процесса суспендирования от величины междискового пространства (h) и угла криволинейных бороздок, нанесенных на поверхность нижнего абразивного диска можно говорить о том, что для насыщения суспензии соевым белком в пределах (G) от 24 гр до 28 гр возможно при уменьшении междискового пространства от 3.7 мм до 3 мм, путем сближения нижнего и верхнего абразивных дисков, за счет уменьшения количества прокладочных шайб, при этом бороздки нанесенные на поверхность этого диска должны соответствовать диапазону угла α в $80^\circ \dots 105^\circ$ относительно центра вращения абразивного диска.

Выводы.

На основании представленных выше исследований, сформулированы следующие выводы:

1. По истечении временного интервала от шести до семи часов выдерживания зерен сои в экстрагенте (в воде), наблюдаются следующие изменения физико-механических свойств зерна: плотность $\rho = 1,08$ г/мл; влажность $W = 70$ %, средняя масса разбухшего зерна $m = 0,37$ г, средний

объем разбухшего зерна сои $V = 0,34 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$. В дальнейшем процесс изменения геометрических размеров зерна стабилизируется, в связи с чем интервал от шести до семи часов, следует считать, оптимальным временным диапазоном выдерживания зерна сои в экстрагенте (в воде).

2. Для улучшения качественных показателей процесса суспендирования, получены рациональные значения ключевых факторов, имеющих значительное влияние на процесс выведения твердых частиц соевого белка (G) в жидкую форму-суспензию. Так для получения насыщенной соевым белком суспензии, необходимо чтобы частота (ω) вращения абразивного диска была в диапазоне 157...172 рад/с, при этом размер зерна нанесенного абразива на диски (шероховатость R_a) равен диапазону от 250 мкм до 440 мкм, а бороздки нанесенные на поверхность этого диска должны соответствовать диапазону угла α в $80^\circ \dots 105^\circ$ относительно центра вращения абразивного диска, междисковое пространство создаваемое верхним и нижним абразивными дисками должно составлять интервал от 3мм до 3,26 мм, объем подаваемого экстрагента (воды) должен быть равен экспериментально полученному значению гидромодуля $\eta = 1:10$, при этом температура экстрагента (воды) не допуская денатурации белка, должна быть в пределах от 55°C до 60°C .

Благодарности. Исследование проведено при финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (грант по грантовому контакту № 075-15-2022-589)

Список литературы

1. Фролов В.Ю. Исследование момента сопротивления измельчителя сои [Текст] / Фролов В.Ю., Баракин Н.С., Класнер Г.Г. // Сельский механик. - 2018. - №10. - п. 24-26.
2. Ю. Фролов, В. Обоснование конструктивно-режимных параметров измельчения замоченного зерна сои / Ю. Фролов, В., Класнер, Г.Г., Кремянский, В.Ф. // Серия конференций ИОР: Науки о Земле и окружающей среде 315(6),062014
3. Фролов В.Ю. Обоснование конструкции и нормативных параметров измельчителя замоченного зерна зернобобовых растений (на примере зерна сои) / Фролов В.Ю., Класнер Г.Г., Сысоев Д.П. // 16(31), с. 258-267
4. Фролов В.Ю. Теоретические и экспериментальные аспекты процесса измельчения замоченного зерна сои / Фролов В.Ю., Курасов В.С., Сысоев Д.П., Класнер Г.Г. // Дусунен Адам 10(1), с. 972-981.

References

1. Frolov V.Yu. Issledovanie momenta soprotivleniya izmel`chitelya soi [Tekst] / Frolov V.Yu., Barakin N.S., Klasner G.G. // Sel`skij mexanik. - 2018. - №10. - p. 24-26.
2. Yu. Frolov, V. Obosnovanie konstruktivno-rezhimny`x parametrov izmel`cheniya zamochennogo zerna soi / Yu. Frolov, V., Klasner, G.G., Kremyanskij, V.F. // Seriya konferencij IOP: Nauki o Zemle i okruzhayushhej srede 315(6),062014
3. Frolov V.Yu. Obosnovanie konstrukcii i normativny`x parametrov izmel`chitelya zamochennogo zerna zernobobovy`x rastenij (na primere zerna soi) / Frolov V.Yu., Klasner G.G., Sy`soev D.P. // 16(31), s. 258-267
4. Frolov V.Yu. Teoreticheskie i e`ksperimental`ny`e aspekty` processa izmel`cheniya zamochennogo zerna soi / Frolov V.Yu., Kurasov V.S., Sy`soev D.P., Klasner G.G. // Dusunen Adam 10(1), s. 972-981.