ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ЗЕРНОБОБОВЫЕ КУЛЬТУРЫ

МОРГУНОВА Наталья Львовна, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

МАКАРОВ Денис Вячеславович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

РУДИК Феликс Яковлевич, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

В статье представлены результаты теоретического анализа закономерностей массопередачи, протекающей при технологическом воздействии на зерно сои в среде жидкости при инактивации антипитательных веществ. На основе классических гидродинамических закономерностей, протекающих при массопередаче в биологическом материале, установлено, что обработка зерна сои без дополнительных, интенсифицирующих процесс воздействий не рациональна, как с позиции производительности, так и с позиции качества вырабатываемой продукции. С этой целью в статье рассмотрены вопросы управления процессом массопередачи за счет воздействия на движущие силы и, соответственно, на коэффициент диффузии дополнительных, интенсифицирующих процесс средств.

Введение. Наука гидродинамического воздействия влаги основана, прежде всего [3], на использовании свойств, заложенных в биологический материал природой. Законы массопередачи и технологии, основанные на них, используют природную возможность влаги проникать во все пустоты и капилляры зерна сои, изменяя при этом его структурно-механические свойства. Этот процесс в той или иной степени вечен и во многом зависит от внешних факторов, к которым можно отнести состояние окружающей среды, твердость и прочность структуры обрабатываемого материала, способность насыщения влагой и многих других факторов [5]. При этом в статичном состоянии процесс, когда каждая очередная зона пор и капилляр начинает омываться только после создания направления предыдущим омыванием, инерционен и продолжается очень длительно. К примеру, увлажнение зерна пшеницы до 14-17 % традиционно ведется в специальных емкостях и длится от 8 до 48 часов в зависимости от его исходной влажности. Это очень нетехнологично, дорого и долго. Поэтому процесс массопередачи следует ускорять и это делается давно [4, 7]. Использование тепла, растворяющих контрагентов разнообразными физическими, электрофизическими и химическими методами обработки используются давно и с разной степенью эффективности и воздействия на качество вырабатываемой продукции. Несомненно, также и то, что всем известным методам присущи определенные достоинства и недостатки, которые следует учитывать при разработке новых технологий.

Современное состояние вопроса технологического воздействия на продукцию растениеводства таково, что обработка может производиться в условиях взаимодействия нескольких процессовых явлений, обеспечивающих питательную ценность, ресурсосбережение, качество, производительность,

высокую технологическую культуру, возможность автоматизации производства.

Цель исследования – теоретически исследовать и установить закономерности возможности интенсификации процесса массопередачи при инактивации зернобобовых культур.

Методика исследований. Для проведения аналитических исследований за основу была принята классическая теория экстрагирования из твердого тела зерна сои антипитательных веществ путем интенсификации процесса массопередачи. Анализу подвергались процессовые явления, протекающие в гидродинамических условиях, когда массообменный процесс осуществляется в статичном состоянии и в условиях, когда он ускоряется путем создания акустических импульсных колебательных движений. В соответствии с этим исследовались такие параметры, как скорость экстрагирования и движущая сила диффузионного сопротивления.

Результаты исследований. Начальная стадия экстракции сопровождается раздвоением процессов насыщения обрабатываемого материала влагой и массопередачи. Процесс проникновения жидкости и растворения продукта экстрагирования, в нашем случае ингибитора трипсина, протекает с большей начальной скоростью, чем две последующие стадии, заключающиеся в переносе экстрагента в капиллярах твердого тела и его выноса в жидкую фазу. Эта закономерность объясняется тем, что скорость экстрагирования прямо пропорциональна движущей силе процесса и обратно пропорциональна диффузионному сопротивлению, протекающему в капиллярах твердого тела.

Экстрагирование выводимое вещества в жидкость и его перенос осуществляются за счет молекулярной диффузии[1]. Биологическое строение зерна сои таково, что путь диффузии вырастает в нем по причине относительно большой длины капилляров и их извилистости, ведущих к повышению трения при

9 2021



продвижении части выводимого вещества о стенки пор. Все эти процессы взаимосвязаны и их изучение и использование при исследовании процессов обработки твердого растениеводческого сырья играют существенную роль для оценки ситуационных явлений. Они приняты основополагающими при выборе оптимальных технологических решений и последующих экспериментальных исследований при технологическом воздействии инактивации антипитательных веществ и разработке технологических средств для этих целей. Физическая суть распространения акустической волны в жидкости, порождённой ультразвуковыми колебаниями, основана на использовании эффекта изменения создаваемого давления. На начальной стадии слой жидкости сжимается, а затем по мере его продвижения расширяется, воздействует на соседний слой, сдавливает его, создавая при этом импульсную передачу энергии. Исходя из уравнения неразрывности струи Бернулли, являющегося частным случаем закона сохранения энергии и выражающего энергетический баланс, т.е. закономерность того, что полная удельная энергия жидкости характеризуется постоянной величиной во всех сечениях потока, следует, что за счет изменения параметров колебательной системы возможно управление создаваемыми микропотоками:

$$\frac{\rho V^2}{2} + \rho g h + p = \text{const}, \tag{1}$$

где $\frac{\rho V^2}{2}$ — динамическое давление в жидкости; ρ — плотность потока жидкости, Π a; V — скорость потока жидкости, м/мин; $\rho g h$ — гидростатическое давление, Π a; p — статическое давление, Π a.

Система распространения акустических волн зависит от обрабатываемой среды. Для случая обработки зерна сои наиболее приемлемо использование гармонических колебаний [1, 2, 6, 9]. В данном случае смещение частицы обрабатываемой среды от положения равновесия определяется условием:

$$S = A\sin(wt - kx + \varphi_0), \tag{2}$$

где A — амплитуда колебаний, характеризующая максимальное смешение частицы относительно положения равновесия, м; w — циклическая частота колебаний, характеризующая число колебаний в единицу времени, $w=2\pi f$, f — частота колебаний $f={}^1\!/_{T,T}$ — период колебаний; k — волновое число, $k=2\pi f \lambda$, λ — длина волны; $\varphi_{\mathbf{0}}$ — начальная фаза колебательного движения.

Скорости колебательного процесса, в соответствии с исследованиями академика Л.Д. Ландау, зависят от движения жидкости в пограничном слое и учитывают не только ламинарное движение, но и трение пограничных слоев движущихся друг относительно друга фаз, ведущих к образованию межфазовой турбулентности. На этом основании считаем, что в каждой из фаз вносимая жидкость переносится путем взаимодействия турбулентных и молекулярных диффузий. Исходя из этого следует, что диффузионное сопротивление переносу ингибитора трипсина зависит от массопроводности, оцениваемой коэффициентом массопроводности, и она в значительной степени воздействует на коэффициент молекулярной

диффузии [9]. Следовательно, механизм переноса выносимого вещества будет осуществляться за счет конвективной диффузии, объясняемой переходом молекулярной диффузии в молярную, объединяющей в себе большое количество молекул частей среды. В целом этот процесс переноса характеризуется диффузией веществ между поверхностью твердого тела и движущейся жидкостью (см.рисунок).

Кинетика данного процесса описывается законом массопередачи [8]:

$$d\,M = \beta \big(\Pi_1 - \Pi_2\big) \alpha F \, d\,\tau, \tag{3}$$
 где β — коэффициент массоотдачи, $\beta = \frac{M}{\Pi_1 - \Pi_2} F; \Pi_1 - \Pi_2$ — потенциалы массопередачи, характеризующие движение силы на границе раздела фаз и в ядре потока соответственно; F — площадь поверхности раздела фаз, $M^2; T$ — время протекания процесса массопередачи, с.

Из выражения (3) следует уравнение для определения интенсивности массопередачи:

$$m = \frac{M}{F} = \beta \left(\Pi_1 - \Pi_2 \right). \tag{4}$$

Важным процессовым показателем, устанавливающим качество и интенсивность инактивации частиц белка ингибитора трипсина и уреазы из зерна сои молекулярной диффузией, является количество переносимого вещества за единицу времени, определяемого законом Фика:

$$j = -\frac{DFdc}{dn},$$
(5)

где D – коэффициент диффузии;

$$D = \frac{j}{\frac{Adc}{dn}};$$

dc

F — площадьповерхности массопередачи, м 2 ; dn — градиент концентраций, направленный по нормали к

поверхности, M^3M .

Заключение. Исходя из выражений (4) и (5), коэффициенты массоотдачи β и молекулярной диффузии D играют существенную роль при разработке технологии и технических средств инактивации ингибитора трипсина из зерна. Данные теоретического анализа позволяют сделать вывод о возможности управления процессом массопередачи за счет воздействий: по выражению (4) на движущие силы,

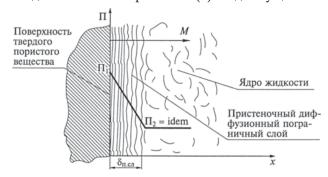


Схема процесса массопередачи системы «твердое тело-жидкость»





действующие на границе, раздела фаз и в ядре потока, в той или иной мере зависящих от гидродинамических, тепловых, механических и электрофизических методов воздействия; по выражению (5) на коэффициент диффузии, отражающий физические свойства вещества и среды, которые зависят от размеров молекул, молекулярной массы вещества и переменных – давления и температуры.

Несомненно, что весомым технологическим параметром является и площадь поверхности массопередачи, измельчение обрабатываемого зерна сои даст позитивные результаты по интенсификации скорости омывания и, следовательно, производительности и повышению качества инактивации ингибитора трипсина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Аксельруд Г.А., Лысянский В.М. Экстрагирование (система твёрдое тело жидкость. СПб.: Химия, 2011. 270 с.
- 2. Алексеев Г.В., Вороненко Б.А., Лукин Н.И. Математические методы в пищевой инженерии. СПб.: Лань, 2012. 176 с.
- 3. *Белевич М.Ю*. Основы классической теории гидромеханики. СПб., 2013. 213 с.
- 4. *Гнездилова А.И.* Процессы и аппараты пищевых про-изводств. СПб.: Юрайт, 2018. 270 с.
- 5. Остриков А.Н., Абрамов О.В., Логинов А.В. Процессы и аппараты пищевых производств. СПб.: ГИОРД, 2012. 616 с.
 - 6. Совершенствование технологии переработки зерна сои

- с использованием ультразвука / Ф.Я. Рудик [и др.] // Вестник Мордовского ГУ. 2018. Т. 28. № 2. С. 266–287.
- 7. *Сибиряков Г.В., Мартынов Ю.А.* Процессы и аппараты пищевых технологий. СПб.: Лань, 2014. 544 с.
- 8. Технология и технические средства для переработки сои / Ф.Я. Рудик [и др.] // Аграрный научный журнал. 2020. N° 3. C. 91-95.
- 9. Morgunova N.L., Rudik F.Y., Semilet N.A., Lovtsova L.G., Ivanova Z.I., Pfeifer Sh.A. Technology for reducing urease activity in soybeans// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations, 2020, P. 62005.

Моргунова Наталья Львовна, канд. с.-х. наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Макаров Денис Вячеславович, магистрант, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Рудик Феликс Яковлевич, д-р. тех. наук, проф. ка-федры «Технологии продуктов питания», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

410005, г. Саратов, ул. Соколовая, 335. Тел. (8452) 69-26-21.

Ключевые слова: ультразвук; экстракция; массопередача; микропотоки.

THEORETICAL ANALYSIS AND JUSTIFICATION OF THE PROCESS OF INTERACTION OF HYDRODYNAMIC OSCILLATORY SYSTEMS UNDER TECHNOLOGICAL INFLUENCE ON GRAIN AND LEGUMINOUS CROPS

Morgunova NatalyaLvovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the chair "Food Technology", Sara-tov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Makarov Denis Vyacheslavovich, Magistrandt, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Rudik Phelix Yakovlevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair "Food Technology", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Keywords: ultrasound; extraction; mass transfer; micro-flows.

The article presents the results of a theoretical analysis of the regularities of mass transfer occurring during the technological impact on soybean grain in a liquid environment during the inactivation of anti-nutrient substances. Based on the classic hydrodynamic patterns occurring during mass transfer in biological material, it is established that processing of soybean without further intensifying the process influences not rational from the perspective of productivity and quality of manufactured products. To this end, the article considers the issues of controlling the mass transfer process by influencing the driving forces and, accordingly, the diffusion coefficient of additional means that intensify the process.

