

Оценка значений технологических параметров электрогидравлического воздействия на зерновой продукт численными методами

Елена И. Верболоз¹ elenaverboloz@mail.ru

Александр А. Лоза¹ projecttechnic@mail.ru

¹ Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, пр. т Кронверкский, 49, г Санкт-Петербург, 197101, Россия

Реферат. Зерно злаковых культур наряду с другими видами питательных веществ много содержит крахмала, усвоение которого происходит медленно и при этом продуктивно используются только определенные формы и то в небольшом количестве. По данным ряда исследований, усвояемость питательного потенциала крахмала в созданной природной форме не превышает 20–25% в зависимости от вида культур. Поэтому задача новых технологий переработки зерна и состоит во внедрении таких способов обработки исходного сырья, которые позволили бы перевести крахмал в удобную для усвоения организм форму. Это возможно при разрушении зернистой структуры крахмала на клеточном уровне, что способствует разрыву природных связей между отдельными составляющими частями и переводу его в более простые углеводы в виде декстринов и сахаров. Без специальной обработки трудноусвояемой является также и клетчатка, которая содержится в большом количестве в зерне и бобах, особенно в их верхних защитных слоях и оболочках. Поэтому разрабатываемые способы углубленной переработки исходного зернового сырья должны способствовать деструкции части целлюлозно-лигнинных образований клетчатки в природных формах в более простые виды моносахаров и аминокислот. В мировой практике производства существует множество методов и технологий обработки зернового сырья с целью повышения его питательности. В последние годы наряду с такими приемами как экструдирование и экспандирование все больший интерес специалисты обращают на методы прямого воздействия электро магнитных полей на прерабатываемое сырье. Одним из таких технологических приемов является метод электрогидравлического воздействия.

Ключевые слова: экструзия, экспандирование, оценка параметров, численные методы оценки параметров

Estimation of values of technological parameters of electrohydraulic action on a grain product by numerical methods

Elena I. Verboloz¹ elenaverboloz@mail.ru

Alexander A. Loza¹ projecttechnic@mail.ru

¹ St. Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics, Kronverksky av., 49, St. Petersburg, 197101, Russia

Summary. Grain of cereal cultures along with other types of nutrients contains much starch which digestion happens slowly and at the same time only certain forms and that in a small amount are productively used. According to a number of researches, the comprehensibility of nutritious potential of starch in the created natural form does not exceed 20–25% depending on a type of cultures. Therefore the problem of new technologies of processing of grain also consists in introduction of such ways of processing of initial raw materials which would allow to translate starch in convenient for assimilation by an organism a form. It is possible at destruction of granular structure of starch at the cellular level that promotes a rupture of natural communications between separate components and to his translation in more plain carbohydrates in the form of dextrans and sugars. Without special processing is trudnousvoyaemy as well cellulose which contains in a large number in grain and beans, especially in their top protective layers and covers. Therefore the developed ways of profound processing of initial grain raw materials have to promote destruction of a part of cellulose and lignin formations of cellulose in natural forms in simpler types of monosugars and amino acids. In world practice of production there is a set of methods and technologies of processing of grain raw materials for the purpose of increase in its nutritiousness. In recent years along with such receptions as extruding and expansion experts turn the increasing interest on methods of direct impact of electro magnetic fields on the earned extra raw materials. One of such processing methods is the method of electrohydraulic influence.

Keywords: extrusion, expansion, assessment of parameter, numerical methods of assessment of parameters

Введение

Современные технологии производства пищевых продуктов весьма успешно используют приемы импульсного высокоэнергетического воздействия. Одним из таких приемов является процесс экспандирования зерновых и других компонентов, который, как и экструдирование, расширяет возможности для совершенствования

технологии пищевого производства. При обработке в экспандере продукт подвергается глубокому структурному преобразованию. Изменяются свойства материала. Происходит полная клейстеризация крахмала, повышаются содержание декстринов и других низкомолекулярных углеводов, атакуемость белков ферментами. Все это способствует более полному усвоению

Для цитирования

Верболоз Е.И., Лоза А.А. Оценка значений технологических параметров электрогидравлического воздействия на зерновой продукт численными методами // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 2. С. 68–72. doi:10.20914/2310-1202-2017-2-68-72

For citation

Verboloz E. I., Loza O. I. Estimation of values of technological parameters of electrohydraulic action on a grain product by numerical methods. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. vol. 79. no. 2. pp. 68–72. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-2-68-72

питательных веществ продукта, причем с меньшей затратой энергии на процесс пищеварения. При этом полностью уничтожаются микроорганизмы, повышается питательная ценность пищевого, в частности на основе зерновых продукта. Расширяется возможность использования новых видов сырья. Процесс экструдирования при этом является весьма энергоемким. Удельный расход энергии на его осуществление составляет 120–150 кВт·ч/т [1]. Поэтому при поиске эффективного, но менее энергоемкого варианта термомеханической обработки продуктов, в том числе в пищевом производстве, специалисты предпринимают попытки разработки новых технологий и аппаратов.

К числу достаточно эффективных, но пока мало используемых в пищевых производствах приемов подвода энергии является электрогидравлический. Мгновенное вскипание внутри предварительно замоченного зерна жидкости приводит к «взрыву» зерновой оболочки, а возникающая снаружи гидравлическое волновое давление, способствует мгновенному сжатию частиц разрушенного зерна. Наиболее эффективным такое воздействие, по-видимому, является при дальнейшем увлажнении измельченного зернового продукта, например, при приготовлении теста или в пивоваренном производстве при увлажнении солода.

Рассмотрим модель единичного зерна в виде некоторой растительной оболочки с действующим на нее внутренним давлением за счет образованных внутри при вскипании газов. Поставим задачу для произвольной формы оболочки, состоящей из трех частей различных по форме конической, цилиндрической и сферической (рисунок 1), найти толщину стенки при заданных габаритных размерах и внутреннем давлении [2–5].

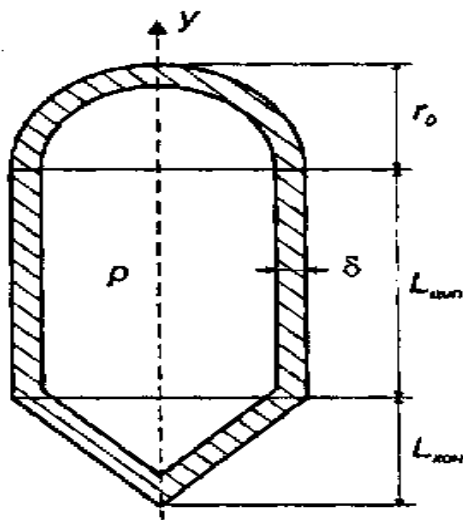


Рисунок 1. Расчетная схема зерновой оболочки
Figure 1. The design scheme of the grain shell

Расчет ведем с учетом размерностей, поэтому в начале программы для прикладного пакета программы Mathcad приведем размерности необходимых параметров, в частности: радиуса цилиндрической части r_0 , давления p , длины цилиндрической и конической частей оболочки $L_{кон}$ и $L_{цил}$, приближенное значение толщины оболочки δ (для вывода промежуточных результатов расчетов), допускаемое напряжение $\sigma_{дон}$ (рисунок 2).

Для построения графиков напряжений приведена зависимость радиуса поперечного сечения оболочки $r(y)$ от координаты y (вдоль оси оболочки), а также для конической, цилиндрической и сферической частей оболочки. Найден радиус кривизны конической части $r(y)$.

При вычислении радиуса $r(y)$ сферической части подкоренное выражение взято по модулю, т. к. в процессе вычислений при равенстве нулю подкоренного выражения машинный ноль округляется то в положительную, то в отрицательную сторону, при этом программа может выдавать ошибку.

Выражения для тангенциальных a , и меридиональных напряжений a_r , как и радиуса $r(y)$, также записаны в виде подпрограмм.

При записи программ с условиями следили, чтобы были определены значения функции при всех значениях аргумента, уделяя особое значение знакам.

По значениям a , и $\sigma_{дон}$ определяются эквивалентные напряжения по третьей или по четвертой гипотезам прочности.

Все выражения для напряжений записаны для четырех параметров $\sigma(t, x, y, z)$. Такая форма записи делает программу расчета универсальной, позволяя определять напряжения при любых значениях этих параметров [3, 5–8].

На этом же рисунке показаны графики изменения напряжений σ , a_m , a_s по длине оболочки при заданных в начале программы значениях p , r_0 , L . Внизу показано определение допускаемой толщины оболочки из условия прочности с помощью дополнительного вычислительного блока.

Вычислительному блоку предшествует начальное приближение толщины δ . Варьируя исходные значения p и r_0 , можно определить допускаемую толщину оболочки $\delta_{дон}$ при любых значениях давления и радиуса оболочки.

Из условия прочности можно определить и давление p при заданных толщине δ и радиусе r_0 .

Выведенный график описывает зависимость допускаемой толщины оболочки от давления и радиуса оболочки. График построен по расчетному массиву точек.

На рисунке 2 приведен расчет радиальных перемещений оболочки по известной из сопромата формуле. Перемещения L_r определяются для допускаемой толщины оболочки [4, 9–11].

Чтобы определить перемещения при иной толщине оболочки, ее надо задать программе выше места определения перемещений.

На рисунке 3 выведены значения рассчитанных перемещений и построен график поверхности оболочки до и после деформации. Промежуточная функция $K(y, 0)$ задает вектор координат точек поверхности (сверху вниз: вдоль радиуса, по углу, по оси оболочки).

Поскольку радиальные перемещения оболочки малы, для наглядности они увеличены с помощью масштабного коэффициента $10^{2.8}$. Такая форма записи масштабного коэффициента очень удобна. Она позволяет, меняя показатель степени, быстро менять масштаб графика [5, 12].

$$\alpha := \arctan\left(\frac{r_0}{L_{\text{кон}}}\right) \quad r(y) := \begin{cases} r_0 \cdot \frac{y}{L_{\text{кон}}} & \text{if } y < L_{\text{кон}} \\ r_0 & \text{if } L_{\text{кон}} \leq y < L_{\text{кон}} + L_{\text{дуг}} \\ \sqrt{r_0^2 - [(y - L_{\text{кон}}) - L_{\text{дуг}}]^2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \rho_t(y) := \frac{r(y)}{\cos(\alpha)}$$

$$\sigma_t(p, r_0, \delta, y) := \begin{cases} \left(p \cdot \frac{\rho_t(y)}{\delta}\right) & \text{if } y < L_{\text{кон}} \\ \left(p \cdot \frac{r_0}{\delta}\right) & \text{if } L_{\text{кон}} \leq y < L_{\text{кон}} + L_{\text{дуг}} \\ \frac{p \cdot r_0}{2 \cdot \delta} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \sigma_m(p, r_0, \delta, y) := \begin{cases} \left(p \cdot \frac{\rho_t(y)}{2 \cdot \delta \cdot \cos(\alpha)}\right) & \text{if } y < L_{\text{кон}} \\ \left(p \cdot \frac{r_0}{2 \cdot \delta}\right) & \text{if } L_{\text{кон}} \leq y < L_{\text{кон}} + L_{\text{дуг}} \\ \frac{p \cdot r_0}{2 \cdot \delta} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$L := L_{\text{кон}} + L_{\text{дуг}} + r_0 \quad L = 1.2 \text{ м} \quad y := 0 \text{ см}, \frac{L}{50} \dots L \quad \sigma_3(p, r_0, \delta, y) := \sigma_t(p, r_0, \delta, y) \quad \text{по 3-ей гипотезе}$$

$$\sigma_3(p, r_0, \delta, y) := \sqrt{|\sigma_t(p, r_0, \delta, y)|^2 + |\sigma_m(p, r_0, \delta, y)|^2 - \sigma_t(p, r_0, \delta, y) \sigma_m(p, r_0, \delta, y)} \quad \text{по 4-ой гипотезе}$$

Рисунок 2. Программа для расчетов

Figure 2. Program for settlements

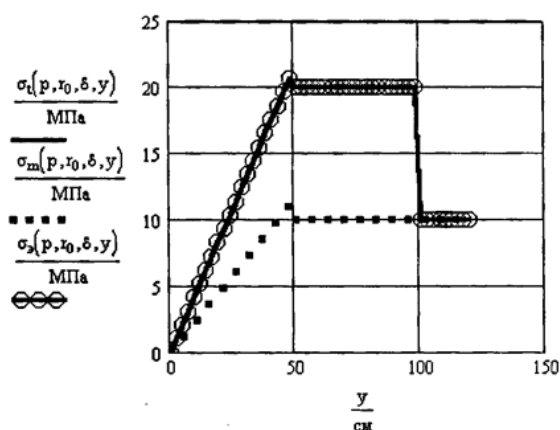


Рисунок 3. Графическое изображение результатов
Figure 3. Graphical representation of results

Полученная универсальная программа пригодна для расчета технологических режимов (внутреннего давления и температуры) для любой толщины оболочки. Для оболочки, составленной из других элементов, можно внести соответствующие изменения в подпрограммы определения напряжений и радиусов кривизны на рисунке 4. Рядом с графиком выведены таблицы значений $\delta_{\text{дон}}$ для различных p и r_0 . Внизу выведен двумерный график зависимости $\delta_{\text{дон}}$ от p .

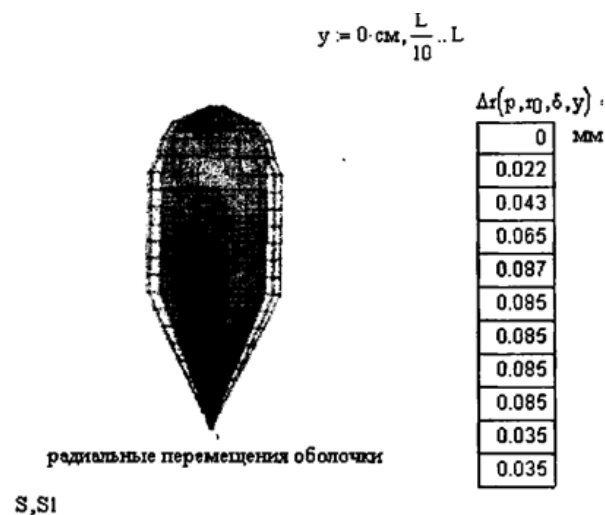


Рисунок 4. Характер деформации оболочки единичного зерна

Figure 4. The nature of the deformation of the shell of a unit grain

Выводы

Выполненный анализ характера деформирования тонкостенной оболочки произвольной формы, особенно в ее цилиндрической части, под действием внутреннего давления позволяет для данных характеристик зерна, определяющего прочность и толщину его эпидермы, подобрать

ЛИТЕРАТУРА

1 Egoshina E.V., Verboloz E.I., Fedorov A.V., Tagiyev S.K. Experimental studies of hydrodynamics of two-phase gas-liquid system in the production of vegetable oils and fats // *International Food Research Journal*. 2015. T. 22. № 5. C. 1906–1910.

2 Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Василенко В.Н., Фролова Л.Н. Энергоресурсосберегающие технологии переработки зернобобового, масличного и эфиромасличного сырья. Воронеж, 2017.

3 Pelenko V.V., Verboloz E.I., Baranenko A.V. The theoretical analysis and optimization of the cutting knife-grille pair parameters in the screws // *Agronomy Research*. 2015. T. 13. № 3. C. 709–722.

4 Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Мануйлов В.В. Разработка комплекта оборудования для производства зерновых хлопьев для комбикормов. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2017. № 1 (15). С. 74–76

5 Аванесов В.М., Плаксин Ю.М., Стрелюхина А.Н., Ларин В.А. Применение растительных экстрактов при производстве напитков функционального назначения // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2016. № 7. С. 28–32.

6 Chen H. и др. Storage Stability of Vitamin-fortified Extruded Rice Grains // *Food Science*. 2011. T. 10. C. 066.

7 Аванесов В.М., Плаксин Ю.М., Стрелюхина А.Н., Ларин В.А. Исследование предварительного электроконтактного нагрева при экстрагировании из сухого растительного сырья // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2015. № 11. С. 23–27

8 Verboloz E., Voronenko B., Pastukhov A., Alekseev G., Pelenko V., Polyakov S. Mathematical modelling of the separation of emulsions through membranes // *International Journal for Engineering Modelling*. 2014. T. 27. № 3–4. C. 131–135.

9 Романчиков С.А., Гришин А.В., Сидоров Е.М. Перспективы развития модифицированных видов продовольствия. Проблемы воспроизводства общественного капитала в контексте глобального неравенства // *Материалы IX Международной заочной научно-практической конференции*. 2014. С. 131–138

10 Аванесов В.М., Плаксин Ю.М., Стрелюхина А.Н., Ларин В.А. Производство дисперсных растительных продуктов методом распылительной сушки // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2016. № 5. С. 9–13.

11 Rashid S. и др. Effects of extrusion cooking on the dietary fibre content and Water Solubility Index of wheat bran extrudates // *International Journal of Food Science & Technology*. 2015. T. 50. № 7. C. 1533–1537.

такие характеристики окружающей среды, которые необходимы для разрушения оболочки, с одной стороны, и достижимы при импульсном электрогидравлическом воздействии, с другой.

Реальные технологические режимы процесса должны назначаться после экспериментальной проверки предлагаемых численных расчетов.

12 Robin F., Théoduloz C., Srichuwong S. Properties of extruded whole grain cereals and pseudocereals flours // *International journal of food science & technology*. 2015. T. 50. № 10. C. 2152–2159.

13 Кретьова Ю.И. Совершенствование технологии обработки зернового сырья в процессе солодоращения // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*. 2015. T. 3. № 2. С. 27–32.

REFERENCES

1 Egoshina E.V., Verboloz E.I., Fedorov A.V., Tagiyev S.K. Experimental studies of hydrodynamics of two-phase gas-liquid system in the production of vegetable oils and fats. *International Food Research Journal*. 2015. vol. 22. no. 5. pp. 1906–1910.

2 Afanasyev V.A., Ostrikov A.N., Vasilenko V.N., Frolova L.N. Power resource-saving technologies of processing of leguminous, olive and efir raw materials. Voronezh, 2017.

3 Pelenko V.V., Verboloz E.I., Baranenko A.V. The theoretical analysis and optimization of the cutting knife-grille pair parameters in the screws. *Agronomy Research*. 2015. vol. 13. no. 3. pp. 709–722.

4 Afanasyev V.A., Ostrikov A.N., Manuylov V.V. Development of a set of the equipment for grain flakes compound feeds. [Technologies food and processing products of healthy food]. 2017. no. 1 (15). pp. 74–76

5 Avanesov V.M., Plaksin Yu. M., Strelyukhi-na A.N., Larin V.A. Use of vegetable extracts by production of drinks of functional purpose. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyry'ja* [Storage and processing of agricultural raw materials]. 2016. no. 7. pp. 28–32.

6 Chen H. et al. Storage Stability of Vitamin-fortified Extruded Rice Grains. *Food Science*. 2011. vol. 10. pp. 066.

7 Avanesov V.M., Plaksin Yu. M., Strelyukhi-na A.N., Larin V.A. Study of preliminary electrocontact heating at extraction from dry vegetable raw materials. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyry'ja* [Storage and processing of agricultural raw materials]. 2015. no. 11. pp. 23–27

8 Verboloz E., Voronenko B., Pastukhov A., Alekseev G., Pelenko V., Polyakov S. Mathematical modeling of the separation of emulsions through membranes. [International Journal for Engineering Modelling]. 2014. vol. 27. no. 3–4. pp. 131–135.

9 Romanchikov S.A., Grishin A.V., Sidorov E.M. The prospects of development of the modified types of food of the Problem of reproduction of the public capital in the context of global inequality [Materials IX of the International correspondence scientific and practical conference]. 2014. pp. 131–138

10 Avanesov V.M., Plaksin Yu. M., Strelyukhina A.N., Larin V.A. Production of disperse vegetable products by method of spray drying. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials]. 2016. no. 5. pp. 9–13.

11 Rashid S. et al. Effects of extrusion cooking on the dietary fibre content and Water Solubility Index of wheat bran extrudates. *International Journal of Food Science & Technology*. 2015. vol. 50. no. 7. pp. 1533–1537.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Елена И. Верболюз д. т. н., зав. кафедрой, профессор, кафедра технологические машины и оборудование, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, пр-т Кронверкский, 49, г Санкт-Петербург, 197101, Россия, elenaverboloz@mail.ru

Александр А. Ло́за аспирант, кафедра технологические машины и оборудование, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, пр-т Кронверкский, 49, г Санкт-Петербург, 197101, Россия, projecttechnic@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Елена И. Верболюз консультация в ходе исследования
Александр А. Ло́за написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 10.02.2017

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 07.04.2017

12 Robin F., Théoduloz C., Srichuwong S. Properties of extruded whole grain cereals and pseudocereals flours. *International journal of food science & technology*. 2015. vol. 50. no. 10. pp. 2152–2159.

13 Kretova Yu.I. Improvement of technology of processing of grain raw materials in the process of malting. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pishchevye i biotekhnologii* [Bulletin of the South Ural state University. Series: Food and biotechnology]. 2015. vol. 3. no. 2. pp. 27–32. (in Russian).

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Elena I. Verboloz doctor of technical sciences, head of department, professor, production machines and equipment department, St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Kronverksky av., 49, St. Petersburg, 197101, Russia, elenaverboloz@mail.ru

Alexander A. Loza graduate student, production machines and equipment department, St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Kronverksky av., 49, St. Petersburg, 197101, Russia, projecttechnic@mail.ru

CONTRIBUTION

Elena I. Verboloz consultation during the study
Alexander A. Loza wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 2.10.2017

ACCEPTED 4.7.2017