

Е.В. ШТЕФАН, д-р техн. наук, проф., НУПТ, Киев,
Д.В. РЫНДЮК, канд. техн. наук, доц., НУПТ, Киев,
С.И. БЛАЖЕНКО, канд. техн. наук, доц., НУПТ, Киев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрена проблема повышения адекватности математических моделей процессов обработки дисперсных материалов путем задания адекватных физико-механических параметров материала твердой фазы. Предложено итерационную экспериментально-расчетную методику определения этих параметров для сыпучих (соль, сахар, пшено) и влагонасыщенных (керамических масс) материалов.

Ключевые слова: дисперсный материал, математическая модель, адекватность, экспериментально-расчетная методика, прессование, пуансон

Опыт проведения теоретических исследований технологий обработки дисперсных материалов с использованием методов математического моделирования показал [1, 2], что трактовка вида твердой фазы материала и соответствующие её физико-механические свойства являются основными аспектами, которые определяют адекватность получаемых результатов.

© Е.В.Штефан, Д.В. Рындюк, С.И. Блаженко, 2014

В работе [3] представлена методика определения структурно-механических свойств мелкодисперсных (до 0,1 мкм) материалов.

Для материалов средней дисперсности (до 3 мм) определение физико-механических свойств затруднительно, поскольку связано с использованием специфического экспериментального оборудования.

Цель работы состоит в разработке расчетно-экспериментальной методики определения физико-механических параметров твердой фазы материалов средней дисперсности.

Методика ориентирована на обеспечение адекватных результатов вычислительных экспериментов с использованием вычислительной программной системы PLAST-002 [4].

Методика исследований определяется алгоритмом, состоящим из следующих этапов:

1. Проведение эксперимента по прессованию дисперсного материала с записыванием зависимости силы прессования от перемещения пуансона.
2. Разработка расчетной схемы процесса прессования эквивалентной схеме проведения эксперимента.
3. Проведение вычислительного эксперимента и получение расчетной зависимости силы прессования от перемещения пуансона.
4. Анализ та сравнение полученных результатов.
5. Коррекция физико-механических параметров твердой фазы материалов и проведение вычислительного эксперимента (п. 2).

Результаты исследований.

В стальную гильзу 1 диаметром D насыпался продукт 2 толщиной слоя h (рис. 1).

В результате проведенных экспериментальных исследований получено:

– график зависимости величины перемещения пуансона от приложенного усилия;

– максимальное усилие, которое было приложено к пуансону.

Расчетная схема, которая положена в основу математической модели представлена на рис. 2. В качестве цифровой модели принята программная система PLAST-002 [5].

Граничные условия заключаются в задании:

- на боковых поверхностях и днище матрицы условия идеального проскальзывания по касательной к поверхностям;
- на поверхности контакта пуансона и материала кинематического перемещения, соответствующего перемещению пуансона.

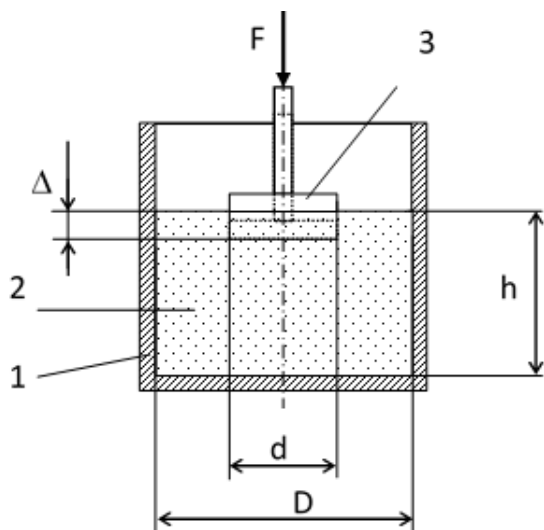


Рис. 1 – Схема экспериментального прессования сыпучего материала в цилиндрической матрице

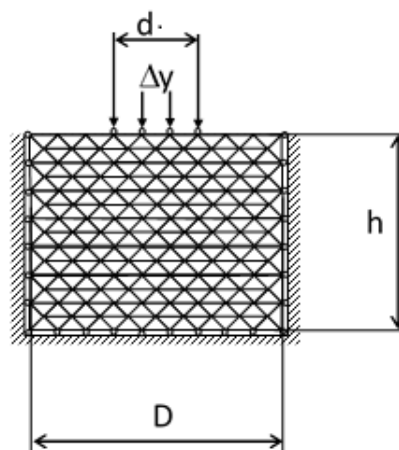


Рис. 2 – Расчетная схема процесса прессования сыпучего материала в цилиндрической матрице

Структурно-механические параметры материалов определяли итерационным способом на основе корректировки параметров при сравнении результатов моделирования с данными экспериментов.

В качестве первого приближения структурно-механические параметры принять согласно [6]. Так для соли было взято следующие значения величин: $\sigma_T = 6$ МПа – предел текучести, которое было принято равным минимальному из рекомендованных значению допустимого напряжения на сжатие; $E = 2,5 \cdot 10^4$ МПа – модуль Юнга, минимальный из рекомендуемых; $\alpha_2 = 0,5$ – объемное содержание твердой фазы.

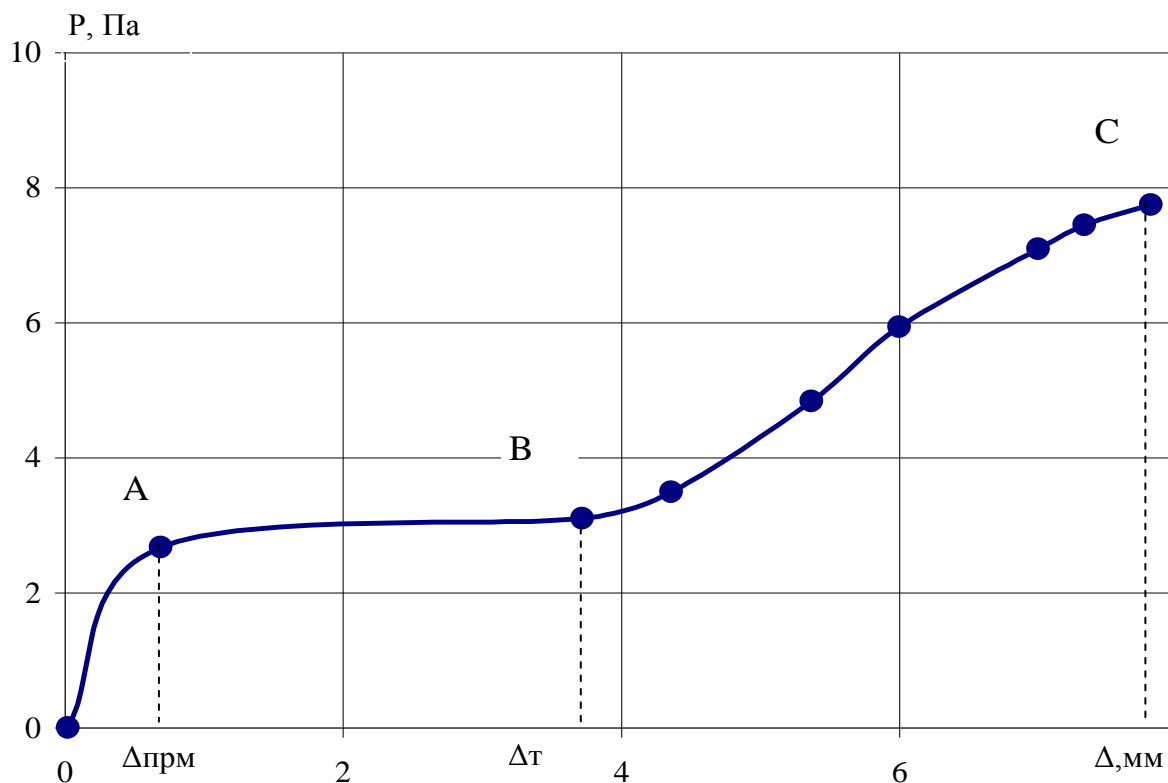
Общий вид зависимости силы прессования от перемещения пуансона (расчетная) приведен на рис. 3.

Отрезок OA описывает упругую стадию деформации материала.

Отрезок АВ – стадию формообразования.

Отрезок ВС – стадию необратимого уплотнения.

Как показывают вычислительные эксперименты, каждая из перечислен-



ных структурно-механических характеристик влияют в той или иной степени на вид зависимости на рис. 3.

Рис. 3 – Типовая зависимость давления прессования от перемещения пуансона

Так, от величины σ_T зависит высота расположения отрезка АВ, от α_2 – длина отрезка АО, от E – угол наклона АВ.

Использование итерационной процедуры в соответствии с предложенной методикой, позволило определить физико-механические параметры для различных сыпучих материалов, а именно для:

соли $\sigma_T = 3$ МПа, $E = 5000$ МПа, ПОР = 76 %,

пшена: $\sigma_T = 2,5$ МПа, $E = 2500$ МПа, ПОР = 71 %,

сахара: $\sigma_T = 2,8$ МПа, $E = 1500$ МПа, ПОР = 65 %.

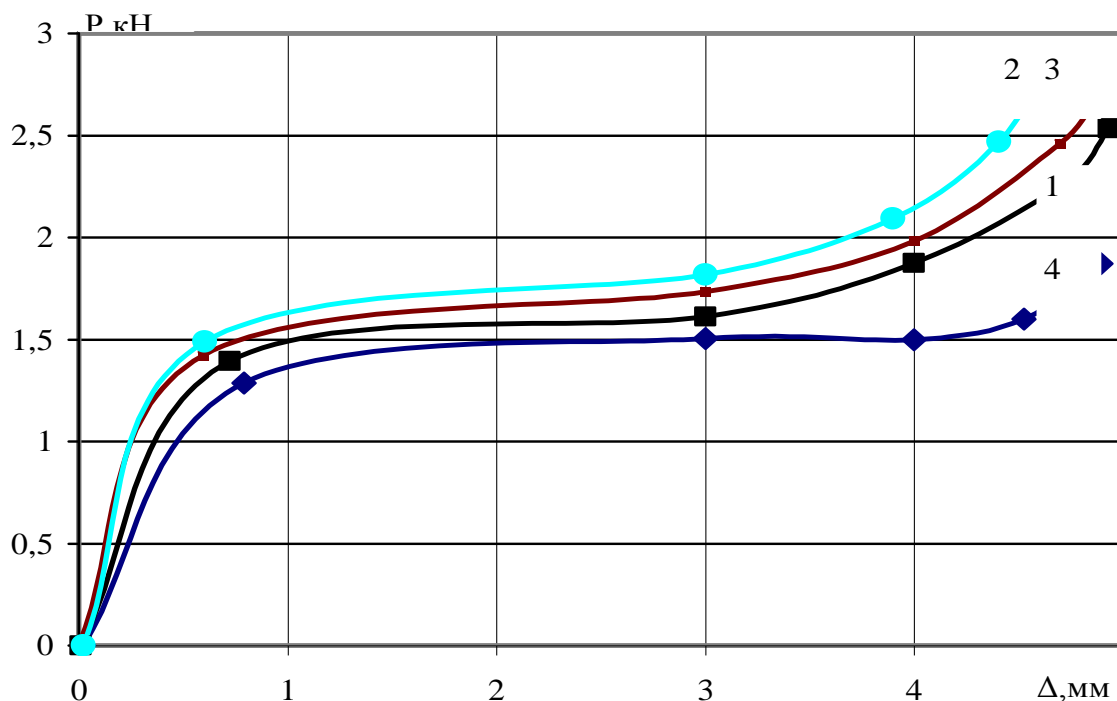
Сравнение данных эксперимента с результатами расчетов для различных стадий приближений представлено на рис. 4.

Таким образом, определены реологические параметры таких сыпучих пищевых продуктов, как соль, сахар и крупа (пшено) могут использоваться в

математическом моделировании соответствующих технологических процессов.

Выводы.

Предложенная методика определения физико-механических характеристик сыпучих материалов может быть рекомендована и для других матери-



лов средней дисперсности.

Рис. 4 – Результаты сравнения экспериментальных (1 соль) и теоретических (2, 3, 4) зависимостей силы прессования от перемещения пуансона для различных физико-механических параметрах материала: 2 – $\alpha_2 = 0,76$; $\sigma_T = 3$ МПа; $E = 5000$ МПа; 3 – $\alpha_2 = 0,75$; $\sigma_T = 3$ МПа; $E = 5000$ МПа; 4 – $\alpha_2 = 0,77$; $\sigma_T = 2$ МПа; $E = 5000$ МПа.

Список литературы: 1. Штефан Є.В. Математическое моделирование процессов механической обработки дисперсных материалов / Є.В. Штефан // Вісник НТУ „ХПІ”. – 2009. – № 25. – С. 23 – 28. 2. Штефан Є.В. Розроблення інформаційних технологій проектування машин та апаратів харчових виробництв / Є.В. Штефан // Наукові праці ОНАХТ. – 2006. – Вип.28. – Т. 2. – С. 222 – 223. 3. Штефан Є. В. Експериментальний метод дослідження реологічних властивостей органічних матеріалів – відходів зернової промисловості / Є.В. Штефан, Д.В. Риндюк // Наукові праці НУХТ. – 2008. – Т. 42, № 25. – С. 106 – 108. 4. Горохов В.М. Система физического и геометрического моделирования процессов получения порошковых изделий с применением метода пластического деформирования / [В.М. Горохов, О.В. Михайлов, Г.П. Устинова, Є.В. Штефан] // Порошковая металлургия. – 1997. – Т. 2, Вып. 20. – С. 5 – 10. 5. Арет В.А. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции / В.А. Арет, Б.Л. Николаев, Л.К. Николаев. – С-Пб.: ГИОРД, 2009.

References: 1. *Shtefan Ye.V.* Matematycheskoe modelyrovanye protsessov mekhanycheskoy obrabotky dyspersnykh materialov / Ye.V. Shtefan // Visnyk NTU «KhPI». – 2009 – № 25. – S. 23 – 28. 2. *Shtefan Ye.V.* Rozroblennya informatsiynykh tekhnolohiy proektuvannya mashyn ta aparativ kharchovykh vyrobnytstv / Ye.V. Shtefan // Naukovi pratsi ONAKhT. – 2006. – Vyp. 28. – Vol. 2. – S. 222 – 223. 3. *Shtefan Ye.V.* Eksperymental'nyy metod doslidzhennya reolohichnykh vlastyvostry orhanichnykh materialiv – vidkhodiv zernovoyi promyslovosti / Ye.V. Shtefan, D.V. Ryndyuk // Naukovi pratsi NUKhT. – 2008. – Vol. 42, № 25. – S. 106 – 108. 4. *Horokhov V.M.* Systema fyzycheskoho y heometrycheskoho modelyrovannya protsessov poluchenyya poroshkovykh yzdelyy s pryomenenyem metoda plastycheskoho deformyrovannya / [V.M. Horokhov, O.V. Mykhaylov, H.P. Ustynova, Ye.V. Shtefan] // Poroshkovaya metalurhiya. – 1997. – Vol. 2, Vyp. 20. – S. 5 – 10. 5. *Aret V.A.* Fyzyko-mekhanyches-kye svoystva sur'ya y hotovoy produktsyy / V.A. Aret, B. L. Nykolaev, L. K. Nykolaev. – St.-Peterburg: HYORD, 2009. – 448 s.

Поступила в редколлегию (Received by the editorial board) 30.09.14

УДК 664.149

Определение структурно-механических и реологических свойств дисперсных материалов / Е.В. ШТЕФАН, Д.В. РЫНДЮК, С.И. БЛАЖЕНКО // Вісник НТУ «ХПІ». – 2014. – № 53 (1095). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 141 – 146. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0821.

Розглянуто проблему підвищення адекватності математичних моделей процесів оброблення дисперсних матеріалів за рахунок завдання адекватних фізико-механічних параметрів матеріалу твердої фази. Запропоновано ітераційну експериментально-розрахункову методику визначення цих параметрів для сипких (сіль, цукор, пшоно) та волого насичених (керамічних мас) матеріалів.

Ключові слова: дисперсний матеріал, математична модель, адекватність, експериментально-розрахункова методика, пресування, пуансон
УДК 664.149

Determination of structural – mechanic and reologic disperse materials properties / E.V. SHTEFAN, D.B. RINDYUK, S.I. BLAZHENKO // Visnyk NTU «KhPI». – 2014. – № 53 (1095). – (Series: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ecolohiya). – P. 141 – 146. – Bibliogr.: 5 names. – ISSN 2079-0821.

The problem of improving the adequacy of mathematical models of dispersed materials handling processes through task adequate physical and mechanical parameters of the material of the solid phase. An iterative experimental design methodologies for determining these parameters for bulk (salt, sugar, wheat) and water contained (ceramic mass) materials.

Structural and mechanical properties of materials are determined iteratively based on the adjustments when comparing the simulation results with the experimental data.

Thus, the determined rheological parameters of bulk food products, such as salt, sugar and cereals (millet) can be used in the mathematical modeling of the corresponding processes. The proposed method

of determining the physical and mechanical characteristics of bulk products can be recommended for other foods.

In addition to the formation of the ceramic material extrusion process was considered backward extrusion of ceramic materials. For experimental verification of the results of numerical simulations, the setup is mounted on the base of the machine MR-200 was conducted indentation punches with different forms of the ends (conical and cylindrical) in the ceramic mass, which is placed in a special cylindrical container.

Keywords: disperse material, mathematical model, adequacy, experimental design technique, pressing, punch