

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

*XVI Міжнародної наукової
конференції*

**«УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І
ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ТА
ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ»**



**ОДЕСА
2016**

Публікуються доповіді, представлені на XVI Міжнародній ій конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв» (5 – 9 вересня 2016 р.) і присвячені актуальним проблемам підвищення енергоефективності в сфері АПК, харчових та хімічних виробництвах, розробки та впровадження ресурсо-та енергоефективних технологій та обладнання, альтернативних джерел енергії.

Редакційна колегія:

доктор техн. наук, професор
канд. техн. наук

О.Г. Бурдо
Н.В. Ружицька
Е.Ю. Ананійчук
О.В. Воскресенська
Ю.О. Левтринська
О.Ф. Терземан

МОДЕЛЮВАННЯ СТОХАСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ГРАНУЛОУТВОРЕННЯ МІНЕРАЛЬНО-ГУМІНОВИХ ДОБРИВ У ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ Корнієнко Я.М., Сачок Р.В.,	105
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ КОЛАГЕНВМІСНОЇ СИРОВИНИ З М'ЯСНИХ ВІДХОДІВ Ощипок І.М.	110
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСІВ ПРЕСУВАННЯ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ У ШНЕКОВИХ ПРИСТРОЯХ Штефан Є.В. Блаженко С.І. Пашенко Б.С.	116
ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ ФАЗ ПРИ МЕМБРАННОМУ ФІЛЬТРУВАННІ РІДКИХ СЕРЕДОВИЩ Пашенко Б.С. Штефан Є.В.	121
ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СУШІННЯ БІОМАСИ І ТОРФУ Корінчук Д.М.,² Пашенько М.А., Безгін М.М.,	125
ПРОЦЕС ПЛИНУ ФІБРОБЕТОННОЇ СУМІШІ В НЕСИМЕТРИЧНОМУ КАНАЛІ БАГАТОКАНАЛЬНОГО ВІБРОЕКСТРУДЕРА Андрєєв І.А. Ящук В.О.	128
АНАЛІЗ РАСЧЁТА ЗАТРАТ МОЩНОСТІ ТЕСТОМЕСИЛЬНОЇ МАШИНОЇ Янаков В.П.	133
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КАЛІБРУВАННЯ ТРУБ З ПОЛІПРОПЛЕНУ Подиман Г.С., Двойнос Я.Г.,	139
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РЕГЕНЕРАТОРА ТЕПЛА ПОВІТРЯ З РЕГУЛЯРНОЮ НАСАДКОЮ ТА ТУРБУЛЕНТНИМ ГІДРОДИНАМІЧНИМ РЕЖИМОМ В. В. Одарчук, Я. Г. Двойнос,	143

Секція 3 **МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНОСУ. ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТА СИСТЕМ**

СИНТЕЗ ПРОСТОРОВИХ ПОТОКОВО-ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ЛІНІЙ ПАКУВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ Гавва О.М. Кривопляс-Володіна Л.О., Деренівська А.В.	148
МЕТОДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДУЛІВ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГРУПОВОЇ УПАКОВКИ Гавва О.М. Якимчук М.В., Токарчук С.В.,	155
МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧІВ КОМБІНОВАНОЇ ДІЇ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ПЕРЕРОБНОЇ ГАЛУЗІ РЕГІОНУ Кущ В.П.,	159
ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТРУБОПРОВІДНОЇ АРМАТУРИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ Володін С.О., Мирончук В.Г.	162
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ПРЕБІОТИЧНОЇ СИРОВИНИ Петрова Ж.О., Пазюк В. М., Перепеличний О.В.,	167
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ СМЕСИ ВОДА – УКСУСНАЯ КИСЛОТА Рябова И.Б. Горбунов К.А. Бабак Т.Г., Сиренко Е.В.	174
УДОСКОНАЛЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТЕМПЕРУЮЧОГО ЗБІРНИКА І РОБОЧИХ ОРГАНІВ АПАРАТУ ПРИ ТЕМПЕРУВАННІ ШОКОЛАДНИХ МАС Хомічук В.А. Журян В.В.	177
АНАЛІЗ СПОСОБІВ ТА «АПАРАТІВ-СИНЕРГІЗМІВ» ДЛЯ СУШІННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ШЛЯХОМ ВАКУУМУВАННЯ Коляновська Л.М.,	180
ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ В РОТОРНО-ПЛІВКОВОМУ АПАРАТІ Іскамов А.Г., Зубрій О.Г.,	185

Секція 4 **ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ**

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНО–КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПЛАСТОВЫХ И СТОЧНЫХ ВОД ОТ СЕРОВОДОРОДА И ЕГО СОЕДИНЕНИЙ ЗА СЧЕТ ДИСКРЕТНО-ИМПУЛЬСНОГО ВВОДА ЭНЕРГИИ Долинский А.А., Ободович А.Н., Резакова Т.А.	189
ІНТЕНСИФІКАЦІЯ РЕАКЦІЇ ОКИСЛЕННЯ ЗАЛІЗОВМІСНИХ ПІДЗЕМНИХ ВОД КИСНЕМ ПОВІТРЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВОДОПІДГОТОВКИ Долінський А.А., Ободович-Резакова Т.А., Фіщенко А.М., Сидоренко В.В.,	193
ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ПИЛООЧИЩЕННЯ Гумницький Я.М., Кущ В.П., Марціянш О.М.,	196
АПАРАТ НЕПЕРЕРВНОЇ ДІЇ ДЛЯ КАПСУЛЮВАННЯ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ У СТАНІ ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ Нагурський О.А., Васійчук В.О., Качан С.І.	199
ЭКСТРАКЦИЯ ДАННЫХ УСТАНОВКИ ПЕРЕРАБОТКИ ПИРОКОНДЕНСАТА Ульєв Л.М., Ильченко М.В.	202
ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ВАННОЙ СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ Селихов Ю.А. Коцаренко В.А., Жилин Д.А., Лузан С.А., Лузан А.С.	209

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСІВ ПРЕСУВАННЯ ТА
ТРАНСПОРТУВАННЯ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ У
ШНЕКОВИХ ПРИСТРОЯХ
MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF PRESSING AND
TRANSPORTATION OF THE PARTICULATE MATERIAL IN AUGER
DEVICES**

**Штефан Є.В. д-р. техн. наук, професор,
Блаженко С.І. канд. техн. наук, доцент,
Пашенко Б.С. аспірант,
Національний університет харчових технологій, Київ
Shtefan E. V., Blazhenko S.I., Pashchenko B. S.
National University of Food Technologies, Kiev, Ukraine**

У роботі запропонована математична модель процесів шнекових пристроїв, призначених для пресування дисперсних матеріалів. Вона дозволяє визначити вплив фізико-механічних властивостей дисперсних матеріалів, геометричних параметрів і режиму роботи шнека на його продуктивність, а також оцінити експлуатаційні навантаження на конструктивні елементи. Розглянуто приклад шнекового маслопреса.

In this work proposed mathematical model of the process of auger devices, which are appointed for pressing of the particulate material. It allows to determine the impact of the physical and mechanical properties the particulate material geometric parameters and the mode of operation of the auger on its productivity, and also to evaluate the operational load on the constructive elements. It was considered example of the auger oil press.

Ключові слова: проектування, шнек, пресування, маслопрес.

Keywords: design, screw, pressing, oil press.

Для багатьох типів технологічного обладнання харчової промисловості характерне використання шнекових пристроїв для транспортування та пресування дисперсних матеріалів у залежності від призначення їхньої переробки. При проектуванні таких пристроїв необхідне визначення співвідношень між конструктивними (розміри міжвиткового простору, частота обертання вала і т.п.) і технологічними (продуктивність, фізико-механічні характеристики оброблюваного матеріалу, тиск в об'ємі пресованого матеріалу і т.п.) параметрами шнекового преса. Отримання таких співвідношень, з врахуванням спіралевидного характеру руху дисперсного середовища й одночасним протіканням в ньому процесів тепломасообміну, пов'язано зі значними математичними труднощами. Використання сучасних комп'ютерних технологій дозволяє розробити ІТП (інформаційна технологія проектування), в основу якої покладено розгляд технологічного процесу як мультикомпонентної системи взаємозв'язаних об'єктів досліджень [3]: дисперсної суміші, елементів технологічного обладнання, термомеханічного навантаження та ін. Основним елементом функцією ІТП є методика визначення відповідних раціональних конструктивно-технологічних параметрів, схема якої наведена на рис. 1.

Розглянемо шнековий пристрій з постійною кутовою швидкістю вала ω , схематично наведений на рис. 2. Основні геометричні параметри шнека (крок витка $H(x)$, діаметр вала $d(x)$, діаметр корпусу $D(x)$) можуть змінюватися по довжині шнека.

Аналітична модель процесу деформування дисперсних матеріалів як складова частина математичної моделі [4,5] базується на концепції представлення дисперсного матеріалу у вигляді двофазної суміші: твердих часток (твердої дисперсної фази) і газорідкого дисперсійного середовища. Для моделювання поведінки таких матеріалів необхідно використовувати наступні традиційні поняття: напруження, деформація, густина, а також швидкості зміни цих параметрів.

Зазначені тензорні і скалярні характеристики мають локальну природу і визначаються за допомогою операцій граничного переходу, коли елементи простору (об'єми та елементи поверхонь) стягуються до точок.



Рис. 1 – Схема визначення відповідних раціональних конструктивно-технологічних параметрів.

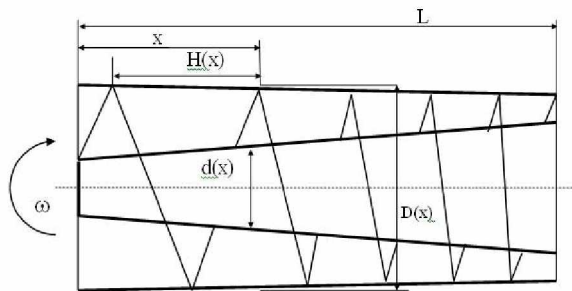


Рис. 2 – Схема шнекового преса.

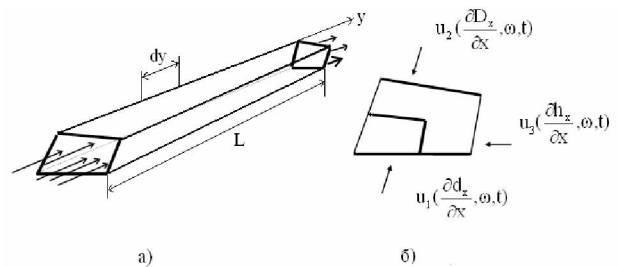


Рис. 3 – Канал міжвиткового простору (а) та закон зміни його перерізу (б).

Класичне представлення про частку в механіці дисперсних систем [1] складається з ототожненням її з твердими зернами різної дисперсності. Виникає такий парадокс: кожна частка дисперсного матеріалу, за своєю суттю, являє собою деформоване тверде тіло. Оскільки кожна дискретна частка взаємодіє із сусідніми частками, розподіл напружень в ній неоднорідний. Тому, для спрощення математичного описання механічної поведінки дисперсних матеріалів, будемо використовувати для відповідних параметрів просторове осереднення по твердій і газорідкій фазах [1]. Повне математичне описання поведінки таких дисперсних матеріалів викладене в [4,5].

Для спрощення формулювання граничних умов приймаємо ототожнення руху матеріалу в міжвитковому просторі шнека з рухом матеріалу у каналі змінного перерізу, який відповідає формі розгорнутого у пряму лінію спіралевидного міжвиткового каналу шнека (рис.3а). Розрахункова схема поведінки матеріалу при такому русі базується на умовному відокремленні процесу стискання матеріалу у каналі (рис.3б) від транспортування матеріалу вздовж каналу. Слід відмітити, що стискання матеріалу у каналі обумовлено зміною розмірів його перерізу (рис.3б), яка повністю враховує основні конструктивні особливості шнекового преса (рис.2).

Аналітична модель транспортування матеріалу у шнековому пристрої базується на припущенні, що відносно корпусу шнека частки матеріалу рухаються паралельно осі вала шнека. За один оберт шнека

(період дорівнює $t = \frac{2\pi}{\omega}$) довільна частка середовища переміщується вздовж осі вала шнека на відстань кроку гвинтової лінії $H(x)$ (рис.2). Швидкість переміщення даної частки вздовж осі вала шнека складає

$$V(x) = \frac{H(x)}{t} = \frac{\omega H(x)}{2\pi} \quad (1)$$

Оскільки $\frac{dx}{dt} = V(x)$, маємо $dt = \frac{dx}{V(x)}$. Таким чином, час проходження часткою матеріалу довільної відстані S від початкової точки валу шнеку:

$$t = \int_0^S \frac{dx}{V(x)} \quad (2)$$

Час проходження часткою всієї довжини шнека L (рис.2) дорівнює:

$$T = \int_0^L \frac{dx}{V(x)} \quad (3)$$

Розглянемо нескінченно малий елемент dy розгортки бокової поверхні корпусу шнека (рис.3 а). За теоремою Піфагора обчислюємо:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\sqrt{[\pi D(x)]^2 + [H(x)]^2}}{H(x)} \quad (4)$$

Тобто співвідношення між координатою x вздовж осі вала шнека та координатою y вздовж каналу має вигляд:

$$y = \int_0^x \sqrt{[\pi D(z)]^2 + [H(z)]^2} \frac{1}{H(z)} dz \quad (5)$$

При $x = L$ визначаємо загальну довжину Y каналу шнека:

$$Y = \int_0^L \sqrt{[\pi D(x)]^2 + [H(x)]^2} \frac{1}{H(x)} dx \quad (6)$$

Основним параметром, що визначає продуктивність шнекового пристрою є масова витрата матеріалу при його русі по каналу Y. З врахуванням (1), (4) масова витрата Q(x) дисперсного матеріалу густини ρ у шнеку довільної довжини x (рис.2) при площі шнекового каналу F(x) дорівнює:

$$Q(x) = \frac{\omega \rho(x) F(x) \sqrt{[\pi D(x)]^2 + [H(x)]^2}}{2\pi} \quad (7)$$

Таким чином, формули (2)-(7) встановлюють взаємозв'язок між геометричними та кінематичними параметрами процесу транспортування матеріалу у шнековому пристрої (рис.2).

Алгоритмічна модель шнекового пресування основана на:

розв'язанні крайової задачі пружно – в'язко – пластичності дисперсного матеріалу у межах розрахункової схеми на рис.3 з використанням методів кінцевих елементів та кінцевих різниць;
розрахунку процесу транспортування матеріалу у міжвитковому просторі шнека.

Розроблені алгоритми реалізовані у вигляді числової моделі з базовим обчислювальним блоком PLAST-002 [5].

З використанням розробленої методики (рис.1) розглянуто процес пресування соняшникової мезги у маслопресі РЗ-МШП (рис.4).

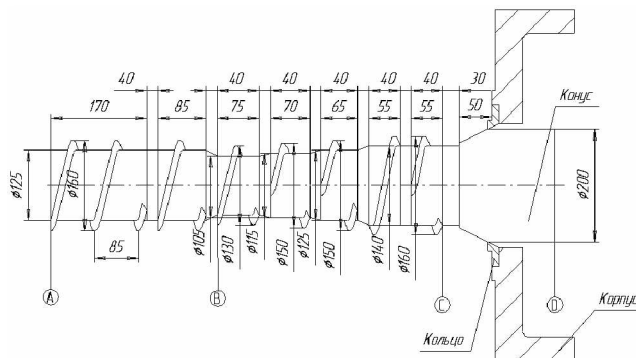


Рис. 4 – Схема шнекового пристрою РЗ-МШП

Розглядаємо процеси руху та пресування мезги на ділянці шнека ВС (рис.4) при кутовій швидкості вала 1.047 c^{-1} (10 об./хв.).

Процес пресування мезги відповідно розрахункової схеми (рис.3) визначається зміною розмірів перерізу каналу (u_1, u_2, u_3). Зміна цих розмірів по довжині шнека представлена графіком на рис.5.

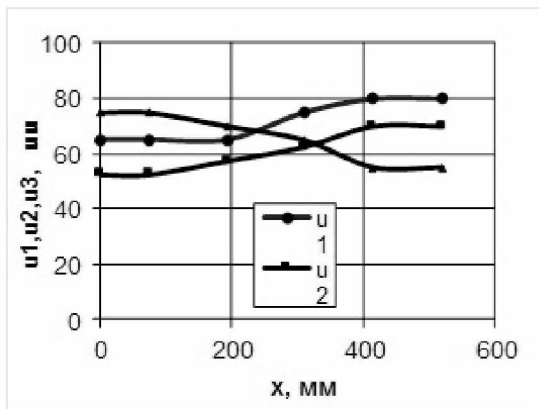


Рис. 5 – Зміна розмірів перерізу каналу шнека.

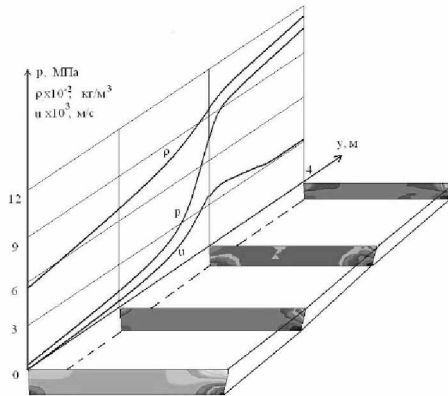


Рис. 6 – Зміна параметрів пресування мезги по довжині каналу.

Структурно-механічні параметри мезги на вході у пресуючу ділянку шнека слід прийняти [2]: густина 570 кг/м^3 , модуль пружності твердої фази 17 МПа, граничні напруження на зсув твердої фази 1.8 МПа, об'ємний вміст твердої фази 40%. Результати розрахунку тиску в об'ємі дисперсної суміші по всій довжині шнекового каналу представлено на рис.6. Характер розподілення тиску по перерізу каналу свідчить, що максимальний тиск залежить від кута між поверхнями витка та вала шнека. Зміна максимального тиску p по довжині каналу представлено графіком на рис.6. Градієнт тиску по перерізу каналу визначає згідно закону Дарсі [5] швидкість виходу рідкої фази (олії) скрізь частки твердої фази мезги. Розподілення модуля максимальної швидкості u для кожного перерізу каналу графічно представлено на рис.6. У результаті відокремлення рідкої фази відбувається ущільнення матеріалу, яке кількісно оцінюємо густиною матеріалу. Зміна значення середньої густини мезги ρ по довжині шнекового каналу показано на рис.6. Для перерахунку розподілення параметрів пресування по довжині шнека використовується рівняння (5), графічна інтерпретація якого для шнекового пристрою РЗ-МШП наведена на рис.7. Таким чином, розподілення параметрів пресування по довжині шнека перетворюються у графіки на рис.8.

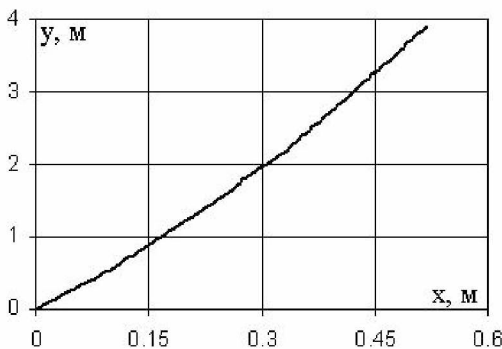


Рис. 7 – Співвідношення між довжинами шнеку та шнекового каналу.

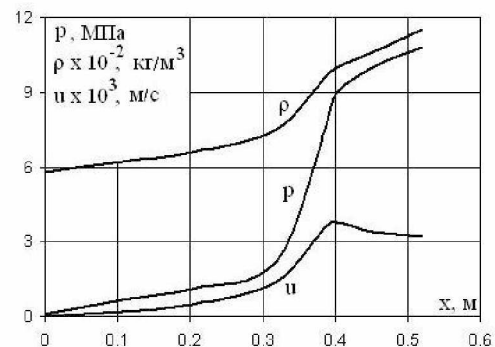


Рис. 8 – Зміна параметрів пресування мезги по довжині шнека.

Час проходження частки матеріалу по ділянці шнека ВС (рис.4) згідно (3) складає 39.38 с. Відповідна довжина шнекового каналу згідно (6) дорівнює 3.907 м. Графік переміщення часток мезги вздовж осі шнека в залежності від часу згідно (2) представлено на рис.9.

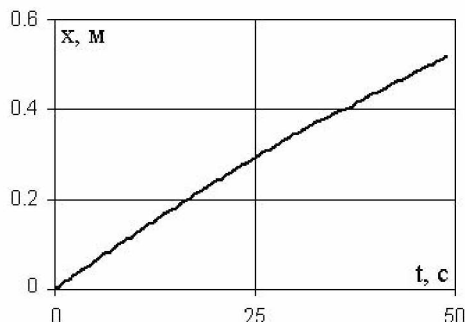


Рис. 9 – Закон руху матеріалу у шнеку

Продуктивність шнекового преса в залежності від його конструктивно-технологічних параметрів визначається співвідношенням (7).

Висновки. Запропоновані наукові основи проектування шнекових пресів з врахуванням їх конструктивних параметрів та структурно-механічних властивостей матеріалу, що пресується.

Література

1. Механика насыщенных пористых сред / В.Н. Николаевский, К.С. Басинев, А.Т. Горбунов и др. – М.: Недра, 1970. – 339с.
2. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов / А.В. Горбатов, А.М. Маслов, Ю.А. Мачихин и др. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 296 с.
3. Штефан Е.В. Информационные технологии проектирования технологического оборудования для механической обработки дисперсных материалов // Междунар. период. сб. науч. тр. «Обработка дисперсных материалов и сред. Теория, исследования, технология, оборудование». Одесса: НПО «ВОТУМ», 2002. – Выпуск №12. – С. 124-128.
4. Штефан Е.В., Блаженко С.И. Построение аналитической модели процессов деформирования дисперсных материалов // Междунар. период. сб. науч. тр. «Обработка дисперсных материалов и сред. Теория, исследования, технология, оборудование». Одесса: НПО «ВОТУМ», 2003. – Выпуск №13. – С. 26-33.
5. Штефан Е.В. Моделювання поведінки дисперсних систем у нерівноважних процесах харчових виробництв // Наукові праці УДУХТ. – 2000. – №8. – С. 63-66.