

Автори: Алієв Ельчин Бахтияр огли, д.т.н., старший дослідник, професор,  
Лінко Миколай Олександрович, здобувач ступеня доктора філософії  
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

## Аналіз техніко-технологічного оснащення процесів експандованого приготування кормів

**Е**кструзійне та експоноване приготування набуває все більшої популярності у світовій агрохарчовій промисловості, особливо в харчовій і кормовій галузях. Зазначені технології використовують для виробництва так званих «інженерних» харчових продуктів і спеціальних кормів.

Узагальнюючі дослідження, екструзія і експандування рослинної сировини зводиться до формування подрібненого матеріалу в баротермічних умовах. За допомогою енергії зсуву, яку надає обертовий гвинт, і додаткового нагрівання, харчовий матеріал нагрівається до температури плавлення або пластифікації. У такому зміненому реологічному стані харчовий матеріал транспортується під високим тиском через матрицю або серію матриць, і продукт розширюється до своєї остаточної форми. Це призводить до відмінних фізичних та хімічних властивостей екструдатів у порівнянні з властивостями сировини, що використовується.

Екструдери і експандери належать до сімейства HTST (високотемпературного короткочасного) обладнання, здатного виконувати завдання приготування харчових продуктів і кормів під високим тиском.

Оскільки вплив високих температур відбувається лише на короткий час обмежується небажаний вплив денатурації білків, амінокислот, вітамінів, крохмалю і ферментів. Фізико-технологічні аспекти, як теплопередача, масообмін, передача імпульсу, час дії температури мають сильний вплив на властивості харчових продуктів і кормів під час екструзійного і експандованого приготування та можуть суттєво вплинути на якість кінцевого продукту. Тому аналіз і порівняння техніко-технологічного оснащення процесів екструзійного та експандованого приготування харчових продуктів і кормів має важливе значення при оптимізації

**Табл. 1. Результати порівняння екструдерів та екструдерів та експандера для виробництва кормів**

Фактор	Одно-гвинтовий екструдер	Дво-гвинтовий екструдер	Експандер
Питома енергоємність процесу (кВт-год/т)	30-70	40-80	12-30
Тиск (МПа)	1-8	1-10	1-6
Температура процесу (°C)	90-160	90-180	80-140
Вологість вхідного матеріалу (%)	18-28	18-60	12-30
Ступінь клейстеризації крохмалю (%)	80-100	90-100	40-80
Розчинність білка (%)	нижче 10	нижче 10	10-12
Агломераційна здатність	так	так	немає
Ефект змішування	середній	добре	поганий
Залежність від вмісту компонентів у матеріал	середя	незалежний	висока
Наявність додаткового нагрівання	так	так	так/ні
Наявність додаткового охолодження	так/ні	так	ні
Самоочищення	ні/погано	добре	ні
Інвестиційні витрати	середні	високі	низькі
Витрати на технічне обслуговування	середні	високі	низькі

конструктивно-технологічних параметрів відповідного обладнання.

Екструдери і експандери – це технологічний реактор, в якому створені передумови з наявністю певного гвинтового компонування, використання змішувальних елементів, величини відповідних зазорів, встановленої потужності двигуна та блоку нагрівання. Правильне використання цих факторів дозволяє стимулювати перетворення оброблених матеріалів за рахунок процесу нагрівання, наприклад, денатурації білків у присутності води та розкладання крохмалю, на який впливає комбінований вплив тепла, тертя та деформації. Ці реакції також можуть бути спричинені наявністю окремого біохімічного або хімічного компонента, наприклад, ферменту або агенту, що контролює рівень рН.

У 1980-х роках на світовому ринку кормового обладнання з'явилося ви-

робництво промислових експандерів. Ідея їх роботи заснована на гвинтовому екструдері, де оброблений матеріал надалі піддається перемішуванню та термічній обробці. Сфера застосування цих пристроїв з кожним роком збільшується. Спочатку їх використовували для попередньої обробки перед гранулюванням корму, а зараз експандери використовуються в автономних процесах: для підвищення поживної цінності повножирних соєвих бобів та інших бобових, для стерилізації компонентів корму, а в деяких випадках для виробництва простих комбікормів.

Варто зазначити, що існує багато подібностей між процесом, що відбувається в експандері та в екструдері, оскільки їх сутність полягає в баротермічній обробці. Істотна відмінність екструзії від експандування полягає в тому, що останній є менш енергоємним і

**Рис. 1. Загальний вигляд експандера виробництва A. Kahl GmbH**



**Рис. 2. Загальний вигляд експандатів**



що на виході з установки матриця замінюється на конічний випускний клапан (найпопулярніше рішення). Процес експандування може бути застосований безпосередньо до харчового продукту або окремого інгредієнта, а іноді навіть використовується як частина більш складної системи, в якій сировина розширюється після приготування.

На відміну від одновинтових харчових екструдерів, експандери мають просту конструкцію та легше керування режимними параметрами. Певне значення має економічний фактор від їх застосування. Наприклад, якщо використовується експандер, виробничі витрати становлять 30% виробничих витрат двовинтового екструдера для харчових продуктів і близько 50% виробничих витрат одновинтового екструдера.

Звичайно, експандери можуть використовуватися лише для обмежених цілей, тому не завжди застосовні. **Таблиця 1** показує основні переваги застосування експандерів порівняно з екструдерами одно- і двовинтового виконання.

Основними компонентами експандерів є блоки подачі і попередньої обробки, корпус з клапанами для впусків пари, гідравлічна система на матриці, яка регулює рівень тиску, і гвинт, що приводиться в рух від двигуна. Сам експандер є спеціально розробленим одновинтовим технічним засобом із діаметром від 150 до 500 мм (**рис. 1**), який може працювати з продуктивністю до 30 т/год. Вони оснащені різними головками: конічні

кільцеподібні (із кільцевими зазорами), пальцеподібними, фланцевими або дископодібними, а також відносно простою системою пластифікації.

Тип матриці значною мірою визначає якість продукції та хід обробки (**рис. 2**). Для споживача особливо важлива здатність до агломерації, що дозволяє формувати продукт, клейстеризація крохмалю, термічна обробка і можливість підтримувати подальший виробничий процес. Найпоширенішою конструкцією матриці експандерів є кільцевий зазор кільцевої форми, проста конструкція з простим обслуговуванням.

Ці особливості, у поєднанні з помірним рівнем інвестиційних витрат, роблять його широко визнаним рішенням. Простота конструкції також тягне за собою недоліки, пов'язані з нелінійним вихідним потоком матеріалу, його нерівномірною формою і розмірами експандату. Бувають також випадки, коли прорізи головки матриці забиваються великими сегментами продукту. В результаті пристрій демонструє пульсації та коливання температури продукту, часто близько 20°C. Низька гнучкість процесу та низька схильність до агломерації змушують виробника корму встановлювати додаткові допоміжні пристрої вздовж технологічної лінії.

Подібні характеристики має і фланцева матриця, проте її використання призводить до більшого впливу на форму експандату. Цей тип можна порівняти з матрицями, які використовуються в екструдерах. Як вже зазначалося, основна робота з розробки експан-

дерів зосереджена на вдосконаленні контролю баротермічної обробки, збільшення здатності формувати експандати, підвищення їх гомогенізаційної якості та зменшення енерговитрат. Це знайшло відображення в останніх конструктивних рішеннях для матриць експандерів. Хорошим прикладом є матриця пальчикового типу з лінійним витіканням продукту. При виборі типу експандерів важливо вирішити питання, для яких цілей він потрібен і який корм буде вироблятися. Відповідь на ці питання визначить правильний вибір і понесені інвестиційні витрати. Розглянемо більш детально процес експандування кормів.

Спочатку матеріал подрібнюється і попередньо обробляється і зволожується. Потім матеріал рухається вздовж корпусу експандера, де він поміщається під тиском всередину опорного блоку, за рахунок тертя і додавання гарячої пари виникає підвищення температури. Коли продукт виходить з матриці установки, він розширюється в результаті швидкого випаровування води, через різке падіння тиску. Час перебування всередині експандера становить 5-10 с при температурі 100-125°C, при виході з матриці температура швидко зменшується до 90°C. Після завершення цього процесу суміш поміщають в горизонтальну сушарку-охолоджувач на 10 хв, протягом яких температуру знижують до 20-24°C відповідно до температури навколишнього середовища.

**Використання експандерів на лінії переробки кормових гранул має багато переваг, найважливішими з яких є:**

- покращення поживності корму (краща конверсія корму);
- більш ефективне використання сировини низької якості або навіть відходів;
- стерилізація бактеріологічно заражених матеріалів;
- кращий контроль подачі рідких добавок;
- зниження енергоспоживання пелетного преса;
- підвищення продуктивності пелетного преса;
- розширення асортименту продукції;
- можливість використання волокнистих матеріалів;
- зниження викидів пилу та втрат під час гранулювання.

Недоліком вищезгаданого рішення є подвійна витрата пари та більші витрати енергії у порівнянні із застосуванням простого гранулювання.

**Застосування експандерів, як автономного пристрою може дати наступні результати:**

- більша модифікація крохмалистих інгредієнтів;
- знижені антихарчові фактори в продукті;
- можлива агломерація продукту;
- підвищення харчової цінності переробленої сировини.

Щоб підтвердити переваги цієї технології, у **табл. 2** наведено результати випробувань годівлі птиці, яку годували гранулами корму, пресованими приблизно при 80°C, та експандатом, обробленим при 115°C. Можна отримати якісні соєві боби, оброблені тільки експандером. В дослідженнях перевірили продуктивність курчат-бройлерів, яких годували на раціонах, що склалися з соєвої олії та соєвого шроту, порівняно з виходом бройлерів, яких годували на 20% експандованих бобів. Кінцевий продукт мав рівень розчинності білка КОН 91,2%, уреазну активність 0,06 і вміст інгібітора трипсину 3,6 мг/г, тоді як значення для 48% соєвого шроту, використаного як контрольний зразок, становили 85,5%, 0,19 одиниць і 2,5 мг/г відповідно. Кури, яких годували квасолею, важили 2621 г і мали індекс конверсії 1,988 на 2617 г, тоді як контрольні кури становили 1,938 ( $P > 0,05$ ).

Дослідженнями встановлено зменшення патогенних організмів у кормах після гідротермічної обробки експандерами. Так загальна кількість мікроорганізмів для необробленого корма складала 12 млн КУО/мл, а для оброблених експандатів – 30 тис. КУО/мл.

Виключне використання експандерів вимагає дуже високого рівня точності, щоб забезпечити правильну та рівномірну обробку бобів. По-перше, вони повинні бути рівномірно подрібнені. Тому доцільно замість молоткового млина використовувати циліндровий млин. По-друге, квасоля потребує попереднього кондиціонування при 100°C протягом 10 хв. Нарешті, температуру близько 130°C необхідно застосовувати протягом 20 с. Температура 130°C протягом тривалого часу погіршить якість білка і, перш за все лізину.

**Табл. 2. Результати випробувань експандованих кормів на птиці (3 групи по 50 бройлерів)**

Вік	Експандати (115°C)		Пелети (80°C)	
	Вага (г)	Коефіцієнт конверсії корму	Вага (г)	Коефіцієнт конверсії корму
20 д	596±19	1,40±0.02	587±18	1,36±0.02
37 д	1620±26	1,81±0.02	1586±25	1,73±0.02
42 д	1902±32	1,93±0.02	1866±30	1,81±0.02



Дані, отримані в ході детальних досліджень, показали, що правильний вибір часу і температури під час експандування має велике значення. Для керування режимними параметрами потрібні спеціальне обладнання і експериментальні дослідження.

Останніми роками експандери відкриваються завдяки використанню їх для збагачення ріпакової макухи – побічного продукту процесу виробництва біокомпонентів палива. У час бурхливого розвитку біопалива його виробники зіткнулися з проблемою ефективного управління величезною кількістю побічних продуктів, таких як згаданий ріпак. Їх можна використовувати фермерам для годівлі тварин за однієї умови – їх належного збагачення. У цьому випадку один з найбільш економічно вигідним рішенням є баротермічна обробка, особливо з використанням експандерів.

Варто зазначити, що експандери також можуть використовуватися, в обмеженій мірі, для виробництва кормів, які раніше вироблялися тільки шляхом екструзії. Тут маєтися на увазі корми для домашніх тварин та аквакорми, які вимагають належної обробки суміші та остаточного формування в матриці. Через специфічні фізичні вимоги (адекватне поглинання та стабільність у водному середовищі) цей тип корму виробляють переважно на екструдерах. Однак останнім часом виробники

експандерів почали використовувати їх для виконання цієї роботи.

Причина в тому, що експандери можна використовувати тільки для простих форм виробів нескладної рецептури і форми. Як правило, застосовується експандер-гранулятор, який в кінцевому підсумку формує і надає корму відповідні фізичні властивості. Гранули, завдяки властивості швидкого поглинання, використовуються в основному для годівлі тих видів риб, які збирають корм з дна водойми. Подальшим кроком у цій галузі є використання експандерів зі змінною матрицею, яка після встановлення працює як простий одногвинтовий екструдер.

Економічні та харчові аспекти використання експандерів роблять їх використання зрозумілим і виправданим у кормовій галузі. Застосування комплексу експандер-гранулятор підвищує собівартість виробництва на 10-15% порівняно з одним лише гранулюванням. Тим не менш, загальний рахунок прибутків і витрат є позитивним завдяки якісним результатам, які врівноважують понесені витрати. Застосування експандерів у світовій комбікормовій промисловості з кожним роком зростає, що також відображається в більш широкому асортименті нещодавно вироблених кормів для тварин. Його корисність повністю підтверджується виробниками кормів, які вже впровадили вищезгадані методи виробництва. 