

## ТРАНСПОРТУВАННЯ ВЕЛИКОШМАТКОВОЇ М'ЯСНОЇ НЕХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ ПО ТРУБАХ

Нехарчові відходи тваринного походження – цінне джерело незамінних амінокислот, мінеральних і біологічно активних речовин, водо- та жиророзчинних вітамінів, потрібних для нормального розвитку та інтенсивного росту організму тварин. Тому переробка їх є необхідною умовою успішного економічного розвитку сучасного м'ясного виробництва.

Технологічні інструкції [1] передбачають, залежно від виду перероблюваної м'ясної сировини, використання різного транспортного технологічного обладнання. У разі використання трубопровідного транспорту перед термічним обробленням сировина (частини туш, голови, кістки тощо) подрібнюється. Розмір часток визначається технічною характеристикою подрібнювача і, як правило, не перевищує 50 мм.

Досі не розроблено науково обґрунтованих методів розрахунку трубопровідних транспортних систем у випадках, коли пневмотранспортуванню підлягає м'ясна неподрібнена чи у великих шматках нехарчова сировина. Така сировина за своїми структурно-механічними характеристиками різко відрізняється від дисперсних систем рідкої і мазеподібної консистенції, що впливає на розрахункові параметри процесу пневмотранспортування її по трубах.

Для науково обґрунтованого розрахунку і проектування трубопровідного обладнання треба мати математичні моделі, які описують рух продукту під час пневмотранспортування. Такі моделі, як правило, базуються на знанні структурно-механічних характеристик продукту. Тобто знання поведінки продукту під час його деформування є однією з основних складових, що визначають вид таких математичних моделей. Це, у свою чергу, дає змогу оптимізувати процес – визначити швидкісні режими руху продукту і виконати проектування більш досконалої траси трубопроводу, виходячи насамперед з потреби зменшення енергетичних витрат.

Основним завданням реодинамічного розрахунку трубопроводу є визначення швидкості продукту, що транспортується. Для продуктів твердоподібної і рідкої консистенції характерні різні режими руху. Так, швидкість руху шматків м'яса біля стінки труби залежить від його структурно-механічних властивостей, розмірів шматків, тиску, стану внутрішньої поверхні труби, режимів руху та інших факторів.

М'ясна нехарчова сировина – це дисперсна система, яка легко деформується під дією тиску. Величина цих деформацій значною мірою впливає на механізм руху продукту.

Щоб виявити вплив тиску на структурно-механічні характеристики, ми провели дослідження компресійних властивостей м'ясної нехарчової сировини, яка складалася з частин туші ВРХ, подрібнених до розмірів 20...25 мм.

Розрахунок і конструювання обладнання для передування залежать від характеру розподілу тиску в масі, що транспортується, особливостей передачі його на стінки трубопроводу. Потрібно враховувати, що компресійні властивості м'ясних продуктів характеризуються рядом параметрів, які входять у різні розрахункові моделі процесу передування. Основні з них такі: відносна деформація; гідростатичний та боковий тиски; густина; в'язкість та пружні характеристики продукту; розподіл тиску при

стисканні сировини в умовах, які фізично моделюють розміри трубопроводу.

Дослідження характеру деформування продукту при стисканні його були проведені на компресійному приладі, схема якого показана на рис. 1.

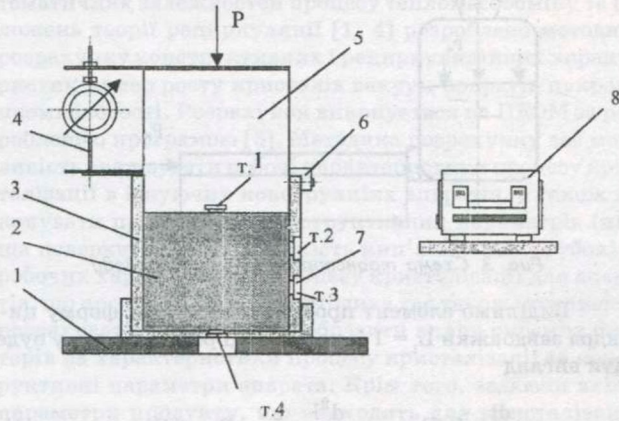


Рис. 1. Компресійний прилад:

1 – станина; 2 – досліджуваний продукт; 3 – робочий циліндр; 4 – вимірювач переміщень; 5 – поршень; 6 – фіксатор; 7 – датчик тиску; 8 – вимірювальна тензометрична система

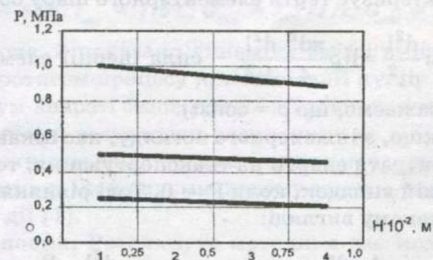
Дослідження проводились у такій послідовності. Подрібнену м'ясну нехарчову сировину завантажували в циліндр 3 і вставляли поршень 5. Легко підпресовували продукт, потім поршень фіксували за допомогою фіксатора 6. Вимірювач переміщень 4 і вимірювальну тензометричну систему 8 встановлювали в початкове (нульове) положення. Потім навантажували поршень вантажем, створюючи потрібний для проведення досліджень тиск  $P$ . Під час проведення досліджень фіксували величину деформації в різні проміжки часу і тиск у різних точках циліндра.

Розподіл тиску по висоті циліндра за умови сталого режиму (при початковій висоті  $H_{\text{поч}} = 100$  мм) наведено в таблиці.

Розподіл тиску по висоті циліндра компресійного приладу

| Точка вимірювання | т. 1 | т. 2 | т. 3 | т. 4 |
|-------------------|------|------|------|------|
| Тиск $P$ , МПа    | 0,25 | 0,24 | 0,22 | 0,21 |
|                   | 0,5  | 0,49 | 0,46 | 0,46 |
|                   | 1,0  | 0,97 | 0,91 | 0,89 |

При тиску на поверхні зразка (т. 1), який дорівнює 0,25; 0,5 та 1,0 МПа, маємо прямулінійну функціональну залежність  $P = P(H)$  (рис. 2).

Рис. 2. Розподіл тиску по висоті стовпа досліджуваного продукту  $P = P(H)$



Дослідивши результати, дістанемо рівняння  $P = P_{\text{пор}} - \alpha N$ , де  $\alpha$  – стала.

Щоб визначити швидкості транспортування сировини, складемо диференціальне рівняння руху, враховуючи при цьому компресійні властивості продукту.

Вважаємо, що під час передування м'ясної нехарчової сировини маємо поршневий режим руху маси по трубі. Розглянемо рух маси по прямолинійній ділянці трубопроводу (рис. 3), коли тиск на початку труби дорівнює  $P_n$ , а в кінці –  $P_k$ .

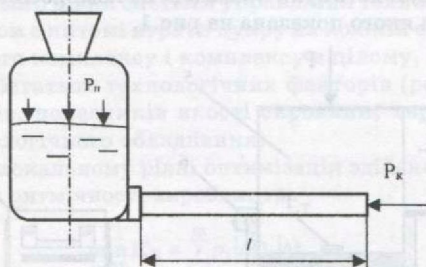


Рис. 3. Схема транспортного трубопроводу

Виділимо елемент продукту, який має форму циліндра завдовжки  $L_1 = 1$  (рис. 4), тоді рівняння руху буде мати вигляд

$$\mu \frac{dl}{dt} + f_{\text{тр}} F_{\text{пор}} + m \frac{d^2 l}{dt^2} = F_n - F_k = \Delta F. \quad (1)$$

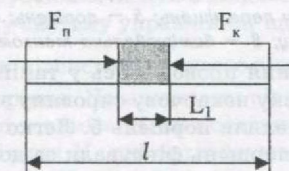


Рис. 4. Схема дії сил на елемент продукту

Вважаємо, що  $\Delta F$  для прямолинійної ділянки шляху змінюється прямо пропорційно  $l$ , а сила, яка притискає циліндр до внутрішньої поверхні труби, згідно з результатами експериментальних досліджень, дорівнює

$$F_{\text{пор}} = (P_n - \alpha l) \frac{\pi d^2}{4}$$

і не залежить від площі контакту.

У найпростішому вигляді рівняння (1) може бути записане в такому вигляді:

$$\mu \frac{dl}{dt} + f_{\text{тр}} (P_n - \alpha l) \frac{\pi d^2}{4} + l_1 \rho \frac{\pi d^2}{4} \frac{d^2 l}{dt^2} = \left( \frac{P_n - P_k}{l} \right) \frac{\pi d^2}{4}, \quad (2)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт, що характеризує в'язкий опір, пропорційний швидкості ( $\mu \frac{dl}{dt} = F_{\text{в'язк}}$ );  $f_{\text{тр}}$  – коефіцієнт тертя, що характеризує тертя елементарного шару об поверхню

труби;  $m \frac{d^2 l}{dt^2} = l_1 \rho \frac{\pi d^2}{4} \frac{d^2 l}{dt^2}$  – сила інерції елементарного шару (вважаємо, що  $\rho = \text{const}$ ).

Якщо, з інженерного погляду, нас цікавлять мінімальні витрати енергії на транспортування, то розглянемо крайній випадок, коли  $P_k = 0$ . Тоді рівняння (2) запишемо у такому вигляді:

$$\mu \frac{4}{\pi d^2} \frac{dl}{dt} + f_{\text{тр}} P_n - f_{\text{тр}} \alpha l + l_1 \rho \frac{d^2 l}{dt^2} - \frac{P_n}{l} = 0. \quad (3)$$

Виділимо сталі

$$\mu_1 = \mu \frac{4}{\pi d^2},$$

$$f_{\text{тр}} P_n = P_{1\text{п}},$$

$$f_{1\text{тр}} = f_{\text{тр}} \alpha$$

і остаточно маємо

$$\mu_1 \frac{dl}{dt} + P_{1\text{п}} - f_{1\text{тр}} l + \rho \frac{d^2 l}{dt^2} - \frac{P_{1\text{п}}}{l} = 0. \quad (4)$$

За допомогою пакета прикладних математичних програм MathCAD 8.1 отримано розв'язок диференціального рівняння (4). Графік зміни швидкості руху продукту на початковій стадії транспортування (час  $T$  змінюється в інтервалі від 1 до 10 с) показано на рис. 5.

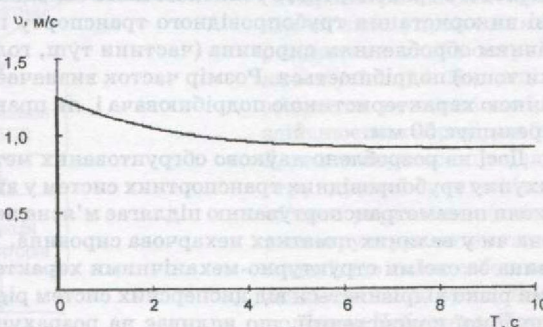


Рис. 5. Зміна швидкості транспортування  $v$  у початковий період руху

Аналіз отриманої залежності свідчить, що швидкість руху на початковій стадії швидко зростає і в подальшому дорівнює приблизно 1 м/с, що відповідає реальному процесу.

Обчисливши швидкість  $\frac{dl}{dt}$  з рівняння (4), можна визначити витрати сировини,  $\text{м}^3/\text{с}$ ,

$$Q = \frac{dl}{dt} \frac{\pi d^2}{4}.$$

**Висновки.** У випадку, коли пневмотранспортування підлягає подрібненню чи в шматках м'ясна нехарчова сировина, маємо поршневий режим її руху в трубі. Враховуючи визначені експериментально компресійні властивості сировини, побудовано математичну модель процесу у вигляді диференціального рівняння руху. Розв'язок цього рівняння дає змогу визначити один з основних параметрів, потрібних для проектування ділянок траси трубопроводу, – швидкість руху сировини. Дані аналітичних розрахунків добре збігаються з результатами експериментальних досліджень, що підтверджує їх адекватність.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Сборник технологических инструкций по производству кормовой муки животного происхождения, жиров и технических фабрикаторов. – М.: Пищ. пром-сть, 1990. – 129 с.
2. Транспортировка сырья и мясopодуlтов по трубам/Я.И. Виноградов, В.Д. Косой, А.А. Горбатов, А.В. Горбатов. – М.: Пищ. пром-сть, 1987. – 144 с.
3. Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование и разработка унифицированной системы сбора и пневмотранспортировки технического сырья на мясокомбинах». – К., КТИПП, 1990. – 258 с.

Надійшла до редколегії 22.09.99 р.