

The paper discusses issues of packaging of bakery products during transport to partitioned distribution routes, thus enhancing the efficiency of transport.

Transport, bread and bakery products, Orbital route distribution-collecting trip, the organization of transportation, rolling stock, containers.

УДК 621.43

ПРО ВПЛИВ ДЕЯКИХ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОРШНЕВИХ МАШИН НА ПОКАЗНИКИ ЇХ РОБОТИ

С.П. Пожидаєв, кандидат технічних наук

Застосовуючи метод масштабних перетворень подібних динамічних систем встановлено взаємозв'язок між основними конструктивними параметрами поршневих машин і показниками їх роботи.

Розміри циліндрів, середня швидкість руху поршнів, робочий об'єм, потужність, матеріаломісткість, ефективний ККД.

Постановка проблеми. У сучасній інженерній діяльності практично не зустрічаються випадки, коли фізичний об'єкт створюється „з чистого аркуша”. Майже завжди розроблюваний об'єкт має якийсь аналог (подібний об'єкт), який відрізняється від створюваного об'єкта значеннями конструктивних параметрів і режимів роботи. Це спрощує визначення параметрів нового об'єкта на етапі прогнозування – громіздкі обчислення стають не потрібними. Достатньо лише певним чином перерахувати числові значення параметрів аналога, „спроєктувати” їх на створюваний об'єкт. Для правильного проведення перерахунку потрібне знання закономірностей, яким підлягає інтенсивність зміни значень параметрів і показників роботи об'єктів при їх масштабних перетвореннях.

Аналіз останніх досліджень. У загальному випадку згадані закономірності описуються математичними моделями масштабних перетворень [1]. Їх застосування являє собою один з проявів моделювання як мистецтва раціонального спрощення задач, що виникають у практичній діяльності інженера.

© С.П. Пожидаєв, 2013

Мета досліджень. Встановити основні закономірності, яким підлягає взаємозв'язок значень параметрів і показників роботи об'єктів при їх масштабних перетвореннях.

Результати досліджень. Одну з систем, зв'язаних між собою масштабним перетворенням, будемо називати оригіналом (натурою), а другу – моделлю і позначати їх індексами „н” та „м” відповідно.

Масштабним коефіцієнтом лінійних розмірів двох геометрично подібних об'єктів назвемо величину l_λ , яка являє собою відношення певного лінійного розміру моделі l_1 до аналогічного розміру оригінала (натури) l_i :

$$l_\lambda = \frac{l_1}{l_i}.$$

Аналогічним чином можна визначити масштабні коефіцієнти площі S_λ , об'єму V_λ , густини матеріалу ρ_λ , маси об'єкту m_λ :

$$S_\lambda = \frac{S_i}{S_1} = l_\lambda^2, \quad V_\lambda = l_\lambda^3, \quad \rho_\lambda = \frac{\rho_i}{\rho_1}, \quad m_\lambda = \rho_\lambda \cdot l_\lambda^3. \quad (1)$$

Масштабний коефіцієнт будь-якої іншої фізичної величини (напруження у матеріалі, крутного моменту, потужності тощо), яка виражається одночленною формулою, отримують шляхом відкидання у згаданій формулі постійних коефіцієнтів і заміни кожної змінної величини відповідним їй масштабним коефіцієнтом.

У процесі масштабних перетворень динамічних систем можуть змінюватись усі їх параметри, у тому числі і час. Це означає різний його плин у вихідній та перетвореній системах, тобто різний час здійснення відповідних переміщень у першій та другій системах. Масштаб часу становить:

$$t_\lambda = \frac{t_1}{t_i}, \quad (2)$$

де t_i і t_1 – відповідні моменти чи відрізки часу у вихідній і перетвореній системах, наприклад, різний період коливань тощо.

При масштабних перетвореннях динамічних систем існує однозначний зв'язок між масштабами кінематичних і динамічних параметрів. Наприклад, масштаб швидкості дорівнює відношенню масштабу лінійних розмірів l_λ до масштабу часу t_λ :

$$v_\lambda = v_1 : v_i = \left(\frac{dl_1}{dt_1} \right) : \left(\frac{dl_i}{dt_i} \right) = \frac{dl_1 \cdot dt_i}{dl_i \cdot dt_1} = \left(\frac{dl_1}{dl_i} \right) \cdot \left(\frac{dt_i}{dt_1} \right) = l_\lambda \cdot \frac{1}{t_\lambda} = \frac{l_\lambda}{t_\lambda} \quad (3)$$

де $l_\lambda = \frac{dl_1}{dl_i} \equiv \frac{l_1}{l_i}$ – масштаб лінійних розмірів;

$$t_\lambda = \frac{dt_1}{dt_1} \equiv \frac{t_1}{t_1} - \text{масштаб часу.}$$

Аналогічно масштаб прискорення дорівнює відношенню масштабу лінійних розмірів до квадрату масштабу часу:

$$a_\lambda = a_1 : a_1 = \frac{l_1}{t_1^2} : \frac{l_1}{t_1^2} = \frac{l_1 \cdot t_1^2}{l_1 \cdot t_1^2} = \left(\frac{l_1}{l_1}\right) \cdot \left(\frac{t_1^2}{t_1^2}\right) = l_\lambda \cdot \frac{1}{t_\lambda^2} = \frac{l_\lambda}{t_\lambda^2}. \quad (4)$$

А якщо врахувати вираз (3) та співвідношення для масштабу кутової швидкості ω_λ , яке має вигляд

$$\frac{1}{t_\lambda} = \omega_\lambda,$$

то масштаб прискорення a_λ можна виразити також у функції від масштабів лінійної v_λ (верхній рядок) або кутової ω_λ (нижній рядок) швидкостей:

$$a_\lambda = \frac{l_\lambda}{t_\lambda^2} = \begin{cases} \frac{l_\lambda^2}{t_\lambda^2 \cdot l_\lambda} = \frac{v_\lambda^2}{l_\lambda}; \\ l_\lambda \cdot \frac{1}{t_\lambda^2} = l_\lambda \cdot \omega_\lambda^2. \end{cases} \quad (5)$$

Масштаб сил визначається за виразом:

$$F_\lambda = \frac{F_1}{F_1} = \frac{m_1 \cdot a_1}{m_1 \cdot a_1} = m_\lambda \cdot a_\lambda = \frac{m_\lambda \cdot l_\lambda}{t_\lambda^2}. \quad (6)$$

Останній можна також визначити у функції від масштабів лінійної v_λ (верхній рядок) або кутової ω_λ (нижній рядок) швидкостей елементів систем:

$$F_\lambda = \frac{m_\lambda \cdot l_\lambda}{t_\lambda^2} = \begin{cases} \frac{m_\lambda \cdot l_\lambda^2}{t_\lambda^2 \cdot l_\lambda} = \frac{m_\lambda \cdot v_\lambda^2}{l_\lambda}; \\ m_\lambda \cdot l_\lambda \cdot \frac{1}{t_\lambda^2} = m_\lambda \cdot l_\lambda \cdot \omega_\lambda^2. \end{cases} \quad (7)$$

Скориставшись співвідношенням (1) $m_\lambda = \rho_\lambda \cdot l_\lambda^3$, масштаб сил може бути представлений у вигляді:

$$F_\lambda = \frac{m_\lambda \cdot l_\lambda}{t_\lambda^2} = \begin{cases} \frac{m_\lambda \cdot v_\lambda^2}{l_\lambda} = \rho_\lambda \cdot l_\lambda^2 \cdot v_\lambda^2; \\ m_\lambda \cdot l_\lambda \cdot \omega_\lambda^2 = \rho_\lambda \cdot l_\lambda^4 \cdot \omega_\lambda^2. \end{cases} \quad (8)$$

Поділивши кожен складову цього виразу на масштаб площі $S_\lambda = l_\lambda^2$, одержуємо масштаб напружень в елементах перетворюваних систем:

$$\sigma_{\lambda} = \frac{F_{\lambda}}{S_{\lambda}} = \begin{cases} \rho_{\lambda} v_{\lambda}^2; \\ \rho_{\lambda} l_{\lambda}^2 \cdot \omega_{\lambda}^2. \end{cases} \quad (9)$$

Одержані співвідношення (5), (8) та (9) свідчать про такі загальні властивості динамічних систем (до яких відносяться і поршневі машини), що проявляються при їх масштабних перетвореннях:

1. Прискорення a , сили інерції F та напруження σ елементів поршневих машин прямо пропорційні квадратам як лінійної, так і кутової швидкостей.

2. Якщо на одному і тому ж рівні витримувати лінійну швидкість руху елементів перетворюваних систем (тобто середню поступальну швидкість руху поршнів, $v_{\lambda}=1$), то збільшення розмірів поршневих машин у l_{λ} разів супроводжується такими наслідками:

а) зменшенням прискорення a елементів у l_{λ} разів – верхній рядок співвідношення (5);

б) збільшенням сил інерції F у l_{λ}^2 разів – верхній рядок співвідношення (8);

в) відсутністю змін у напруженнях σ елементів системи – верхній рядок співвідношення (9). Останнє свідчить про те, що збільшення розмірів поршневих машин, які виготовляються з тих же матеріалів, слід проводити зі збереженням середньої лінійної швидкості руху поршнів.

3. Якщо на одному і тому ж рівні витримувати кутову швидкість руху елементів перетворюваних систем (тобто кутову швидкість обертання колінчастого валу, $\omega_{\lambda}=1$), то збільшення розмірів системи у l_{λ} разів супроводжується такими наслідками:

а) збільшенням лінійних прискорень a у l_{λ} разів – нижній рядок (5);

б) збільшенням сил інерції F у l_{λ}^4 разів – нижній рядок (8);

в) збільшенням напружень σ у l_{λ}^2 разів – нижній рядок (9). Це свідчить про те, що збільшення розмірів поршневих машин, які виготовляються з тих же матеріалів ($\sigma = const$), не можна проводити за умови збереження кутової швидкості руху колінчастого валу – її обов'язково слід зменшувати. А саме, щоб при зростанні розмірів системи у l_{λ} разів зберегти напруження у деталях на попередньому рівні кутову швидкість обертання колінчастого валу слід зменшити у l_{λ} разів:

$$\omega_{\lambda} = \sqrt{\frac{\sigma_{\lambda}}{\rho_{\lambda}}} \cdot \frac{1}{l_{\lambda}}. \quad (9, a)$$

Наприклад, сучасні дизельні двигуни мають таку кутову швидкість обертання колінчастого вала [2, с. 22]:

- при діаметрі циліндра 85 - 150 мм – 1,5 – 3 тис. хв.⁻¹;
- при діаметрі циліндра 300 – 600 мм – 400 – 500 хв.⁻¹;
- при діаметрі циліндра 800 мм і більше – 100 – 110 хв.⁻¹.

Збільшення розмірів циліндрів супроводжується не лише зменшенням кутової швидкості, а й збільшенням абсолютних допусків на зношування деталей. Ці два чинники позитивно впливають на строк служби двигуна. Наприклад, ресурс до капітального ремонту існуючих двигунів, обладнаних наддувом, становить [2, с. 22]:

- при діаметрі циліндрів 85 - 150 мм – 10 – 14 тис. годин;
- при діаметрі циліндрів 300 - 650 мм – 45 – 50 тис. годин;
- при діаметрі циліндра більше 800 мм – 100 тис. год.

Щоб уявити розмір цих ресурсів, слід врахувати, що за один рік круглодобової роботи двигуна його наробіток складає приблизно 8,8 тис. годин.

Вираз (9 а) також свідчить, що зменшення розмірів циліндрів (масштаб $l_\lambda < 1$) може застосовуватись для збільшення допустимої кутової швидкості обертання колінчастого вала, що дає можливість збільшити літрову потужність двигуна. А саме, кутова швидкість може бути збільшена у таку ж кількість разів, у яку будуть зменшені лінійні розміри циліндрів двигуна. Цю властивість використовують при створенні швидкохідних двигунів гоночних мотоциклів та автомобілів, у яких застосовують збільшену кількість циліндрів невеликих розмірів.

4. Компенсацію зростання сил інерції і напружень, які виникають при збільшенні розмірів систем, можна забезпечити шляхом застосування матеріалів з меншою густиною (масштаб $\rho_\lambda < 1$).

Ефективну потужність поршневого двигуна внутрішнього згоряння можна визначити за виразом:

$$N = \left\{ \begin{array}{l} P \frac{V}{\pi} \omega; \\ P \frac{V}{\pi} \omega = P \frac{SH}{\pi} \omega = P \frac{S}{\tau} \cdot \bar{v}, \end{array} \right\}, \quad (10)$$

де N – потужність двигуна, кВт;

P – середній ефективний тиск, кПа;

V – робочий об'єм двигуна, м³;

τ – тактність двигуна, для чотиритактних вона дорівнює 4, а для двотактних – 2;

ω – кутова швидкість обертання колінчастого вала, рад/с;

S – сумарна площа поршнів двигуна, м²;

H – хід поршня, м;

\bar{v} – середня швидкість руху поршнів, м/с: $\bar{v} = \frac{H\omega}{\pi}$.

Відповідно до співвідношення (10) масштаб потужності поршневих машин при їх масштабних перетвореннях дорівнює

$$N_{\lambda} = \begin{cases} P_{\lambda} V_{\lambda} \omega_{\lambda} & = P_{\lambda} l_{\lambda}^3 \omega_{\lambda}; \\ P_{\lambda} S_{\lambda} \bar{v}_{\lambda} & = P_{\lambda} l_{\lambda}^2 \bar{v}_{\lambda}. \end{cases} \quad (11)$$

Він свідчить, що потужність поршневих машин прямо пропорційна швидкості їх елементі – як кутовій швидкості обертання колінчастого вала ω (верхній рядок виразу (11)), так і середній лінійній швидкості руху поршнів \bar{v} (нижній рядок).

З першого рядка виразу випливає, що при масштабних перетвореннях поршневої машини, яке здійснюється при незмінній кутовій швидкості обертання колінчастого вала ($\omega_{\lambda} = 1$), її потужність прямо пропорційна робочому об'єму V , тобто кубу лінійних розмірів циліндрів l .

Але, як свідчить нижній рядок виразу (9), при цьому напруження у деталях двигуна зростуть у l_{λ}^2 разів, що потребуватиме застосування більш міцних матеріалів.

Проте цей недолік не проявлятиметься, якщо робочий об'єм двигуна збільшувати шляхом нарощування кількості циліндрів. У цьому випадку робочий об'єм, маса і потужність двигуна змінюються у однакову кількість разів, внаслідок чого матеріалоємність двигуна залишається на одному і тому ж рівні.

Саме цим пояснюється широке застосування багатоциліндрових двигунів. У двигунів сучасних легковиків кількість циліндрів досягає 16 (суперкар Бугатті-Вейрон), у судових двигунів – 42 (чотиритактний зіркоподібний дизель М-503 потужністю 2,4 тис. кВт при частоті обертання колінчастого вала 2 тис. хв.⁻¹, маса 3,5 т [3, с. 190]).

З першого рядка виразу (11) також випливає, що потужність двигуна можна збільшити навіть без збільшення його робочого об'єму. А саме, можна зменшувати лінійні розміри циліндрів при одночасному збільшенні їх кількості. Згідно зі співвідношенням (9, а) зменшення розмірів циліндрів дасть можливість підняти швидкість обертання колінчастого вала, що збільшить потужність двигуна.

Але збільшення кількості циліндрів двигуна супроводжується таким же зростанням кількості його деталей, що ускладнює двигун.

Внаслідок цього у сучасному двигунобудуванні застосовуються обидва шляхи досягнення заданої потужності – як за рахунок різної кількості циліндрів, так і за рахунок різних розмірів останніх.

З другого рядка виразу (11) випливає, що при незмінній середній швидкості руху поршнів ($\bar{v}_\lambda = 1$) потужність поршневої машини прямо пропорційна сумарній площі поршнів S , тобто квадрату лінійних розмірів циліндрів.

Внаслідок цього збільшення лінійних розмірів циліндрів двигуна у l_λ разів супроводжується зростанням маси і робочого об'єму двигуна у l_λ^3 разів, а потужності – лише у l_λ^2 разів.

Тобто приріст потужності поршневих машин, обумовлений зростанням розмірів циліндрів при незмінній середній швидкості руху поршнів, у l_λ разів відстає від приросту робочого об'єму і маси. Через це матеріаломісткість поршневих машин при збільшенні розмірів циліндрів зростає у l_λ разів. Наприклад, матеріаломісткість існуючих дизельних двигунів становить [2, с. 22]:

- при діаметрі циліндра 85 - 150 мм – від 2,3 до 10 кг/кВт;
- при діаметрі циліндра 300 - 650 мм – від 6 до 25 кг/кВт;
- при діаметрі циліндра більше 800 мм – 25 – 30 кг/кВт.

Взаємозв'язок потужності і робочого об'єму двигуна зручно аналізувати за допомогою масштабу літрової потужності, який являє собою відношення масштабу потужності двигуна до масштабу робочого об'єму:

$$\frac{N_\lambda}{V_\lambda} = \begin{cases} P_\lambda \cdot \omega_\lambda \\ \frac{P_\lambda \cdot \bar{v}_\lambda}{l_\lambda} \end{cases} \quad (12)$$

Перший рядок отриманого співвідношення свідчить, що при масштабних перетвореннях поршневої машини, кутова швидкість ω обертання колінчастого вала якої є постійною, літрова потужність залежить лише від середнього ефективного тиску P і не залежить від розмірів. Якщо ж середній ефективний тиск не змінюється, то потужність двигуна прямо пропорційна кутовій швидкості ω , яку можна збільшувати при зменшенні лінійних розмірів циліндрів.

Якщо постійною є середня лінійна швидкість поршнів \bar{v} , то літрова потужність двигуна має обернено пропорційну залежність від його розмірів – див. другий рядок співвідношення (12). Тобто у великорозмірністих двигунів тракторів і морських суден літрова потужність є об'єктивно меншою, ніж у двигунів легкових автомобілів чи мотоциклів.

Окрім того, при збільшенні розмірів циліндрів дещо зростає ефективний ККД двигуна, що пояснюється відносно меншими втратами теплової енергії у стінки циліндрів (робочий об'єм циліндра пропорційний l_λ^3 , а площа стінок циліндра пропорційна l_λ^2).

Наприклад, у чотиритактних дизельних двигунів, обладнаних наддувом, згаданий ККД дорівнює [2, с. 11]:

- при діаметрі циліндрів близько 100 мм – 0,32;
- при діаметрі циліндрів близько 200 мм – 0,39;
- при діаметрі циліндра близько 600 мм – 0,41.

Висновки

Збільшення розмірів циліндрів поршневого двигуна у l_λ разів, яке здійснюється при тій же середній лінійній швидкості руху поршнів ($\bar{v}_\lambda = 1$), то супроводжується такими наслідками:

- необхідністю зменшення кутової швидкості обертання колінчастого вала у l_λ разів;
- збільшенням циліндрової потужності у l_λ^2 разів;
- зростанням робочого об'єму і маси двигуна у l_λ^3 разів;
- зменшенням літрової потужності у l_λ разів;
- збільшенням матеріаломісткості у l_λ разів;
- збільшенням моторесурсу і ефективного ККД.

Зменшення розмірів циліндрів у l_λ разів, яке здійснюється при тій же середній лінійній швидкості руху поршнів, може застосовуватись для збільшення допустимої кутової швидкості обертання колінчастого вала у l_λ разів, що дає можливість підвищити літрову потужність. При цьому підтримання робочого об'єму двигуна на попередньому рівні здійснюється збільшенням кількості циліндрів.

Останнє супроводжується пропорційним зростанням робочого об'єму, потужності і маси двигуна, літрова потужність і матеріаломісткість залишаються незмінними.

Список літератури

1. *Пожидаев С.П.* Моделирование инженерных задач. – К.: Аграр Медіа Груп, 2011. – 224 с.
2. *Вешкельский В.А.* Справочник моториста установок с ДВС: Вопросы и ответы. – Л.: Машиностроение, 1985. – 272 с.
3. *Акимов Р.Н., Гасиев Р.А., Заир-Бек А.Б.* Справочник моториста. – М.: Воениздат, 1972. – 512 с.

Используя метод масштабных преобразований подобных динамических систем установлена взаимосвязь между основными конструктивными параметрами поршневых машин и показателями их работы.

Размеры цилиндров, средняя скорость движения поршней, рабочий объем, мощность, материалоемкость, эффективный КПД.

Using the method of scaling transformations of similar dynamic systems revealed a relationship between basic design parameters of piston engines and their performance.

Sizes of cylinders, average speed of piston, work capacity, power, materials, effective efficiency.

УДК 662.763.3.2

ВПЛИВ РЕЖИМІВ МЕТАНОВОГО БРОДІННЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

***В.М. Поліщук, М.М. Лободко, кандидати технічних наук
О.В. Сидорчук, О.В. Поліщук, здобуачі***

Проведено аналіз умов, що впливають на інтенсифікацію процесу метанового зброджування. Визначено ступінь впливу на ефективність виробництва біогазу та його теплової цінність температурного режиму метантенка, сировинної бази, перемішування, наявності косубстратів

Біогаз, субстрат, біошлам, метантенк, газгольдер, температурний режим, косубстрат, перемішування

Постановка проблеми. Енергозабезпеченість людства все більше залежить від природного газу по причині зручності його використання та екологічній чистоті. Однак його розвіданих запасів вистачить всього на 60 років. Причому найбільші запаси природного газу сконцентровані тільки в певних регіонах: Росії, Ірані, на Аравійському півострові. Інші країни вимушені купувати природний газ. Україна хоч і займає третє місце в Європі по обсягах видобування природного газу (після Голландії і Норвегії), забезпечує себе власним природним газом лише на 20%. Решта експортується. Зате в Україні вдосталь сировини для отримання аналога природного газу – біогазу, який отримується із біологічної сировини (гною, відходів аграрного виробництва та переробки сільськогосподарської продукції, біомаси тощо) на біогазових установках. Разом із тим, ефективність виробництва біогазу значною мірою залежить від режимів роботи біогазової установки [1].

Аналіз останніх досліджень. Для інтенсифікації процесу метанового зброджування необхідна оптимізація умов, при яких швидкість ферментних реакцій була б максимальною. На створення

© В.М. Поліщук, М.М. Лободко, О.В.Сидорчук, О.В. Поліщук, 2013