

**DOI 10.26886/2414-634X.6(33)2019.3****UDC 666.3.041.55****ANALYSIS OF AERODYNAMIC CHARACTERISTICS IN THE  
TUNNEL KILN CHANNEL WHEN CHANGING THE GEOMETRIC  
CHARACTERISTICS OF THE CHANNEL****E. Dmytrochenkova, PhD of Technical Sciences**Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Center for  
Resource Efficient and Clean Production, Ukraine, Kiev**K. Tadya, PhD of Technical Sciences**

Center for Resource Efficient and Clean Production, Ukraine, Kiev

*The article is devoted to the analysis of the influence of tunneling channel height change on its aerodynamic characteristics by modeling the velocity and pressure distribution of air and furnace gases. Three variants of the tunnel geometry were considered: basic, with reduced height in the firing zone and with reduced height along the entire length of the furnace. The simulation results in the dependence of the static pressure along the length of the furnace and the velocity of the furnace gas moving along its height. The analysis of the change in the velocity of the furnace gases in the tunnel has made it possible to say that the most effective in terms of uniformity of velocity distribution is the variant with the reduction of the height of the arch along the entire length of the furnace.*

*Keywords: tunnel kiln, tunnel kiln channel, change of kiln geometry, velocity distribution modeling, static pressure distribution.*

*кандидат технічних наук, Дмитроченкова Е. І., кандидат технічних наук, Тадля К. А. Аналіз аеродинамічних характеристик в каналі тонельної печі при зміні геометричних характеристик каналу / Київський національний університет будівництва та архітектури,*

*Центр ресурсоефективного та чистого виробництва, Україна, Київ;  
Центр ресурсоефективного та чистого виробництва, Україна, Київ.*

*Стаття присвячена аналізу впливу зміни висоти каналу тунельної печі на її аеродинамічні характеристики шляхом моделювання розподілення швидкостей та тисків повітря та пічних газів. Було розглянуто 3 варіанти геометрії тунелю: базовий, зі зниженою висотою в зоні випалу та зі зниженою висотою по всій довжині печі. В результаті моделювання отримано залежності статичного тиску по довжині печі та швидкості руху пічних газів по її висоті. Проведений аналізу зміни швидкості пічних газів в тунелі надав можливість стверджувати, що найбільш ефективним з точки зору рівномірності розподілення швидкості є варіант із зниженням висоти склепіння по всій довжині печі.*

*Ключові слова: тунельна піч, канал тунельної печі, зміна геометрії печі, моделювання розподілення швидкостей, розподілення статичного тиску.*

**Актуальність і постановка проблеми.** Тунельні печі досить широко розповсюджені на території України та використовуються для випалу керамічних виробів. Для отримання якісної продукції необхідно забезпечити оптимальний режим випалу продукції, під яким розуміють поєднання оптимального теплового та аеродинамічного режимів. Причому їх взаємозв'язок очевидний, враховуючи пряму залежність між швидкістю руху теплоносія (пічних газів) і швидкістю протікання процесу теплообміну в садці. Менший аеродинамічний опір простору між садкою та перекриттям в порівнянні з аеродинамічним опором каналів садки печі призводить до певної різниці в швидкостях та температурах газів в цьому просторі та в каналах садки, що має

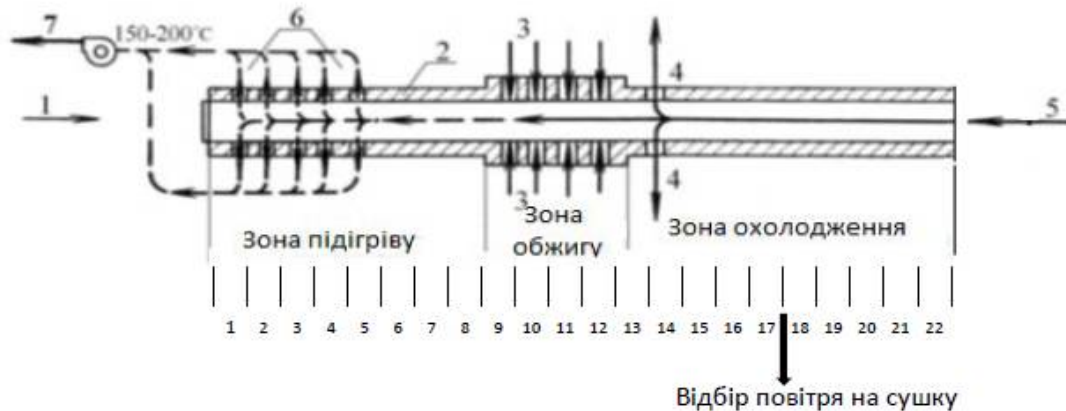
негативний вплив на якість продукції, та як наслідок на енергетичну ефективність процесу випалу в цілому.

Тому актуальність вирішення проблеми вирівнювання швидкостей потоків пічних газів в садці та в просторі над нею не може викликати сумнівів.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Переважно для вирішення даної проблеми використовуються заходи з інтенсифікації теплообміну шляхом механічного перемішування. Зокрема в [2,3] авторами публікації з метою збільшення конвективної складової теплообміну між теплоносієм та матеріалом пропонується установка обладнання для рециркуляції в зоні попереднього підігріву, яке забезпечить надійне перемішування та турбулізацію пічних газів по перетину печі. В статті [4] для зменшення нерівномірності нагріву садки цегли пропонується використання швидкісних пальників власної розробки Інституту газу НАН України для підігріву повітря в низькотемпературній зоні. В жодній з наведених публікацій авторами не розглядався вплив зміни геометрії печі на підвищення ефективності випалу виробів.

Тому **метою** даної статті є обґрунтування зміни висоти каналу печі шляхом проведення чисельного моделювання руху пічних газів в тунелі печі.

**Виклад основного матеріалу.** Тунельна піч являє собою довгий тунель (60 - 200 м), по якому рухається поїзд з вагонеток, навантажених виробами, які обробляються. Схема тунельної печі представлена на рис. 1.



**Рис.1. Схема тунельної печі**

1 – напрям руху вагонеток; 2 – тунель; 3 – пальники; 4 – відвід підігрітого повітря до пальників; 5 – холодне повітря для охолодження випаленого матеріалу; 6 – відвід продуктів спалювання; 7 – димосос.

Склад вагонеток періодично проштовхується за допомогою штовхача. Холодні вироби завантажуються в тунель, де спочатку підігріваються за рахунок теплоти продуктів згоряння, потім проходить випалення в зоні високих температур, після чого вони охолоджуються зустрічним потоком повітря і вивантажуються з печі. Теплота від виробів в зоні охолодження використовується для нагріву повітря. Основна частина підігрітого повітря відводиться на потреби сушки виробів, інша частина в залежності від конструкції печі може бути використана в процесі спалювання на пальниках в якості первинного, або надходити в зону високих температур для повного спалювання палива. Відпрацьовані гази охолоджуються в зоні підігріву оброблюваного матеріалу виробів до температури 110 - 200 ° С і відводяться димососом в димову трубу [1].

Одним з варіантів зміни аеродинамічного режиму в тунелі є зміна його геометричних характеристик, а саме зменшення висоти тунелю при збереженні витрати повітря, що подається. При цьому слід

традиційно очікувати збільшення швидкості пічних газів, що сприятиме зменшенню перепаду температур по перетину печі. В свою чергу, варто відслідковувати вплив зміни геометрії тунелю на величини статичного тиску. Оскільки останній має значний вплив на якість випалу в зоні максимальних температур. Так зниження тиску може призводити до наступних недоліків:

- недопалу виробів;
- нерівномірності кольору виробів;
- виникненню тріщин в зоні охолодження на позиціях переходу черепка з «псевдозрідженого» стану в тверде і в області кварцових перетворень - за рахунок різкого зниження температури [2,3].

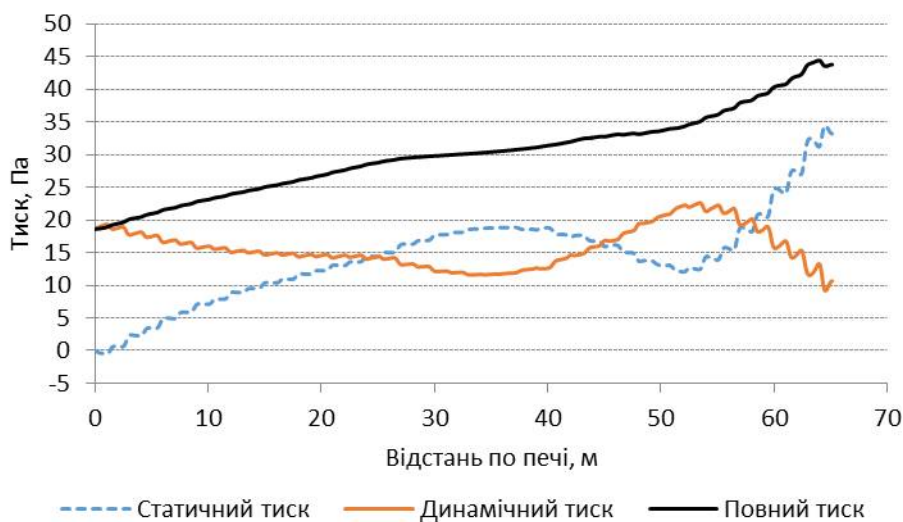
Вплив висоти каналу на зміну швидкостей пічних газів та статичного тиску було розглянуто на наступних варіантах:

- базовий з висотою склепіння 2 м;
- зі зниженням висоти склепіння по всій довжині тунелю (на 25 см);
- зі зниженням висоти тунелю виключно в зоні випалу (на 25 см).

Моделювання розподілу потоків повітря і продуктів згоряння здійснювалось в спрощеній 2D постановці за допомогою відкритого коду OpenFoam з використанням моделі турбулентності  $k-\omega$  переносу напруг зсуву ( $k\Omega\text{megaSST}$  [5]) для стаціонарних умов. В результаті моделювання отримані залежності тисків від довжини печі, а також швидкості руху пічних газів від її висоти.

На рис. 2 представлена динаміка зміни статичного, динамічного та повного тиску в базовому варіанті, з якого видно, що повний тиск монотонно падає у той час, як динамічний сягає максимуму в зоні відбору повітря на сушку. При розрахунках умовно нульове значення задавалось в місці відбору димових газів, хоча фактично в місці відбору завжди тримається розрідження, фактичний нульовий тиск зазвичай підтримується поблизу зони чи в зоні випалу, щоб виключити

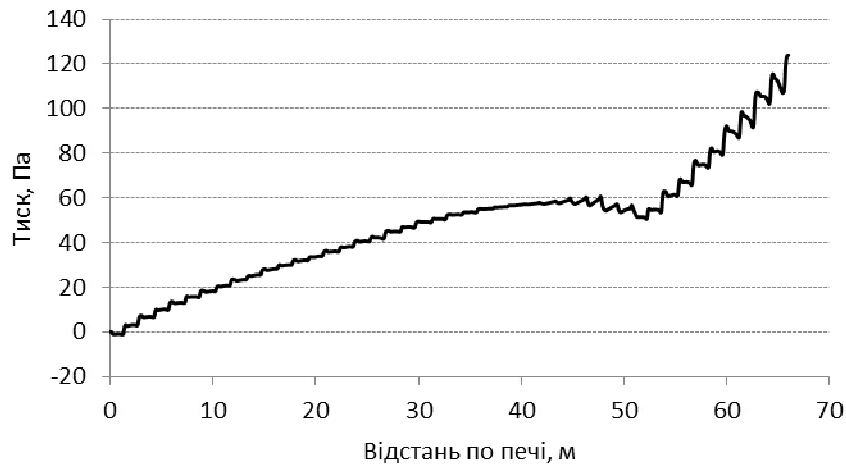
вибивання димових газів в приміщення. Далі в зоні випалу і зоні прискореного охолодження воно починає поступово зростати. У місці відбору гарячого повітря із зони охолодження значення статичного тиску знову падає. І в кінці тунельної печі за рахунок нагнітання вентилятором холодного повітря в зону охолодження величина статичного тиску різко зростає і набуває максимального значення на виході з печі.



**Рис. 2. Розподілення статичного, динамічного та повного тиску по каналу печі в базовому варіанті**

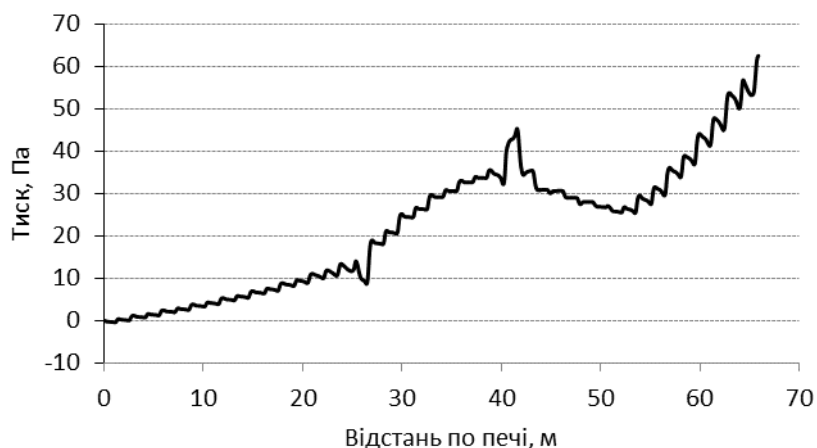
Якщо говорити виключно про статичний тиск, то його значення схильне до зміни одночасно зі зміною швидкісних характеристик. При зниженні висоти склепіння на 25 см по всій довжині (рис. 2) спостерігається загальне збільшення величини статичного тиску по всій довжині каналу. Цей факт можна віднести до категорії негативних, тому що подолання даного тиску буде потребувати додаткових витрат енергії на привід вентиляторів і димососів. Що, як наслідок, буде збільшувати вартість всього процесу. Ще одним моментом, який треба

буде враховувати це те що в разі збільшення тиску в зоні високих температур може відбуватись перегрів підвагонеточного простору.



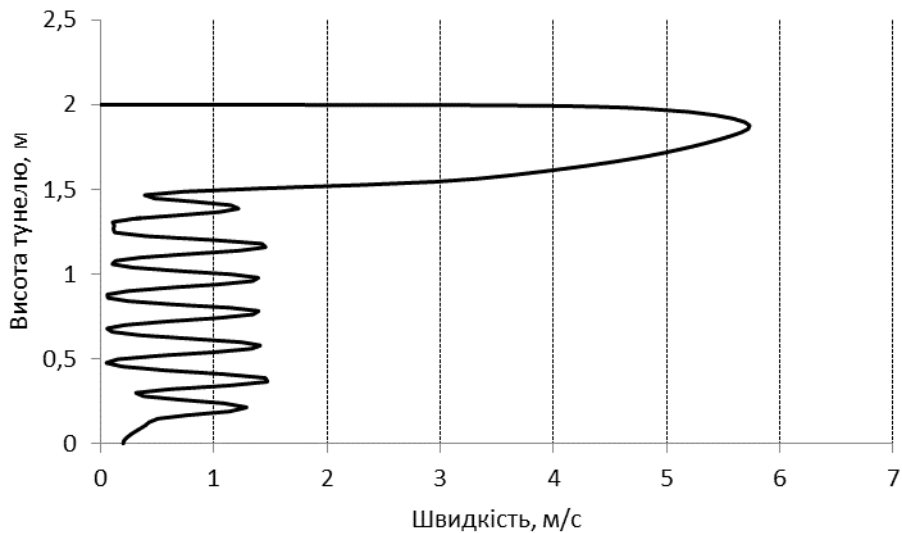
**Рис. 3. Розподілення статичного тиску по каналу печі за умови зниження висоти склепіння на 25 см по всій довжині печі**

Аналіз рис. 4 дає можливість зробити висновок про те, що значення статичного тиску в разі зниження висоти склепіння тільки зоні випалу значно (майже в 2 рази) перевищує його значення в базовому варіанті, але при цьому менше, ніж в разі зниження висоти склепіння по всій довжині печі.

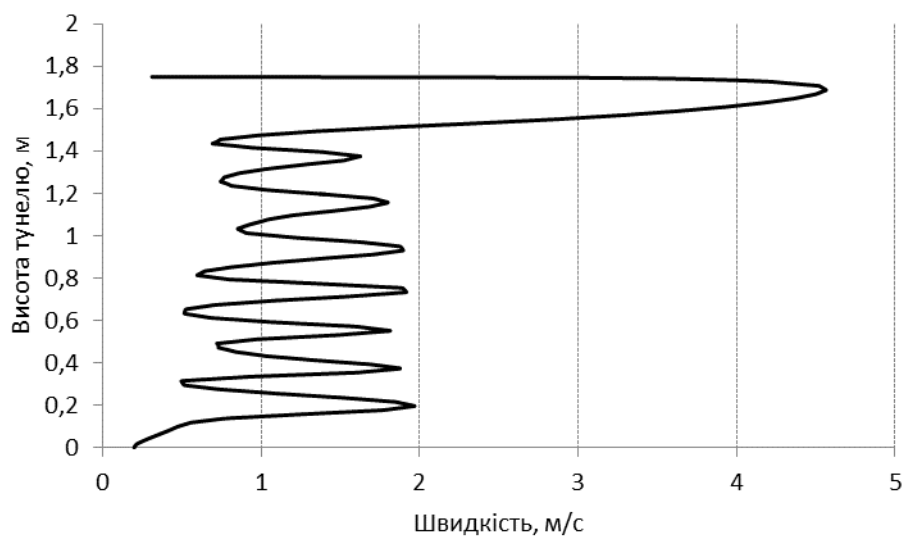


**Рис. 4. Розподілення статичного тиску по каналу печі за умови зниження висоти склепіння на 25 см в зоні випалу**

На рис. 5-7 продемонстрована динаміка зміни швидкості по висоті тунелю печі на першій позиції. В базовому варіанті (рис. 5) видно, що свого максимального значення (на рівні 5,7 м/с) швидкості димових газів досягають у верхній частині тунелю (в зоні виходу з печі). Видно, що швидкість повітря між виробами садки більш ніж в 4 рази нижче, ніж під склепінням.

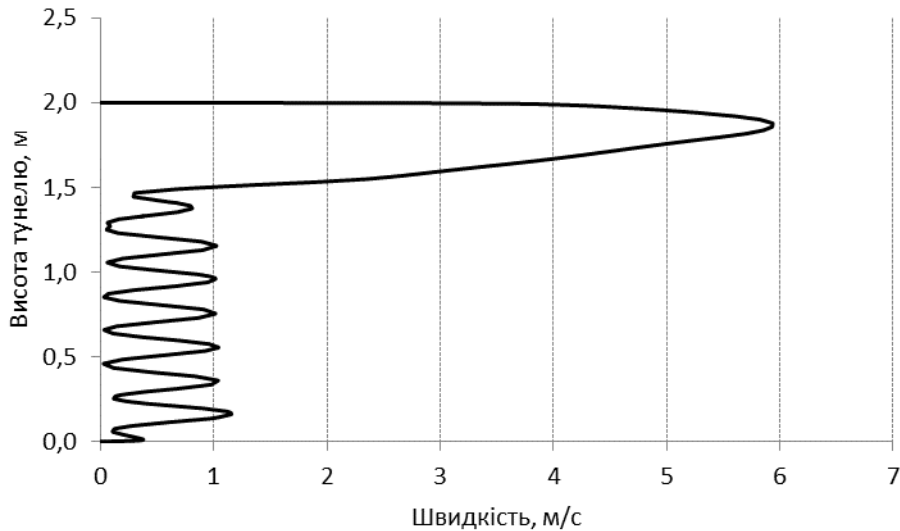


**Рис. 5. Розподіл швидкостей по висоті тунелю печі в базовому варіанті**



**Рис. 6. Розподілення швидкостей по висоті тунелю печі за умови зниження висоти перекриття на 25 см по всій довжині печі**





**Рис. 7. Розподілення швидкостей по висоті тунелю печі за умови зниження висоти склепіння на 25 см в зоні випалу**

При проведенні аналізу значень швидкостей біля вихідного перетину печі за умови зниження висоти склепіння на 25 см по всій довжині печі, наведених на рис. 6, слід зазначити зростання швидкості пічних газів в садці (приблизно на 30%) і її зниження в просторі між садкою та перекриттям. В цілому, зменшення висоти каналу печі призводить до зниження нерівномірності швидкостей між садкою та простором під перекриттям з 4 до 2,5 разів.

Результати моделювання для третього варіанту, які наведені на рис. 7, показують навіть трохи більшу нерівномірність швидкостей між потоками в садці та під перекриттям ніж для базового варіанту.

**Висновок.** Аналіз зміни основних аеродинамічних характеристик показав, що найбільш ефективним буде зниження висоти по всій довжині печі в той час як зміна висоти склепіння в зоні випалу майже не позначиться на рівномірності швидкостей в зоні підігріву. Зниження висоти склепіння так само мінімізує ймовірність виникнення зворотного потоку повітря в зоні охолодження на ділянці від випалу до місця відбору повітря на сушку. Більш низьке перекриття на ділянці

охолодження дозволить підвищити інтенсивність відбору теплоти і відповідно знизить втрати теплоти з продукцією щоб використовувати її на сушку виробів. З іншого боку, варто відзначити, що зміна висоти перекриття призведе до збільшення аеродинамічного опору і відповідно перепаду тиску, що потребуватиме додаткових витрат електроенергії на привід тягодуттьових машин та можливість підвищення температур в просторі під вагонами.

**Література:**

1. Шукин А. А. (1973) *Промышленные печи и газовое хозяйство заводов*. Москва, Энергия, 224.
2. Торчинский А.И., Ляшко А.Ю. (2016). Оптимизация теплового и аэродинамического режимов работы туннельной печи для обжига. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*, 1, 66-71.
3. Торчинский А.И., Ляшко А.Ю., Сергиенко А.А. (2010). Модернизация парка туннельных печей производства керамического кирпича. 2. Совершенствование системы отопления печей. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*, 2, 57-60.
4. Пилипенко Р.А., Пилипенко А.В., Логвиненко Д.М. (2010). Повышение эффективности работы туннельных печей для обжига кирпича. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*, 2, 23-26.
5. Транспорт і шляхи сполучень <<https://www.openfoam.com/documentation/user-guide/>> (2019, жовтень, 03)

**References:**

1. Schukin A. A. (1973) *Industrial furnaces and gas facilities of plants*. Moscow, Energy, 224. [in Russian]

2. Torchinsky A.I., Lyashko A.Yu. (2016). Optimization of thermal and aerodynamic operating conditions of a tunnel kiln for firing. *Energy Technologies and Resource Saving*, 1, 66-71. [in Russian]
3. Torchinsky A.I., Lyashko A.Yu., Sergienko A.A. (2010). Modernization of the park of tunnel kilns for the production of ceramic bricks .2. Improving the heating system of furnaces. *Energy Technologies and Resource Saving*, 2, 57-60. [in Russian]
4. Pilipenko R.A., Pilipenko A.V., Logvinenko D.M. (2010). Improving the efficiency of tunnel kilns for brick firing. *Energy Technologies and Resource Saving*, 2, 23-26. [in Russian]
5. Transport and hats <<https://www.openfoam.com/documentation/user-guide/>> (2019, october, 03)

Citation: E. Dmytrochenkova, K. Tadya. (2019). Analysis of aerodynamic characteristics in the tunnel kiln channel when changing the geometric characteristics of the channel. *Innovative Solutions in Modern Science*. 6(33). doi: 10.26886/2414-634X.6(33)2019.3

---

Copyright: © E. Dmytrochenkova, K. Tadya. 2019. This is an openaccess article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.