

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Бетін Юрій Олексійович

УДК 621.43.056:632.15

ДИСЕРТАЦІЯ

Підвищення ефективності печей малої потужності за рахунок
струменево-нішової технології

144 – теплоенергетика

14 – електрична інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Ю.О. Бетін

Науковий керівник: Абдулін Михайло Загретдинович, д.т.н., професор

Київ – 2023

АНОТАЦІЯ

Бетін Ю.О. Підвищення ефективності печей малої потужності за рахунок струменево-нішевої технології – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 «Теплоенергетика». – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2023.

Підготовка здійснювалася на кафедрі теплової та альтернативної енергетики Навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

В першому розділі описано засоби організації робочого процесу одного з видів промислових печей – низькотемпературних печей малої потужності. Відмічене, що перспективним є імпульсний режим роботи пальникових пристроїв та печі в цілому.

Різноманітність альтернативних видів палива та відповідні відмінності у їх фізичних та хімічних властивостях, у поєднанні з одночасними змінами у конструкції пристроїв перетворення енергії необхідність скорочення викидів, створюють серйозні проблеми для організації ефективного спалювання.

На кафедрі теплової та альтернативної енергетики інституту атомної та теплової енергетики Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» протягом декількох десятиків років розробляються пальникові пристрої на основі струменево-нішевої технології з мікродифузійним механізмом спалювання, які характеризуються високим рівнем економічності, екологічної безпечності та надійності.

Одним із основних напрямків підвищення теплової ефективності вогнетехнічного обладнання є використання нових прогресивних технологій спалювання палива.

Висновки. На основі приведеної інформації можна зробити такі висновки:

1. Для створення та модернізації існуючих ВО основним інструментом є ПП на основі технології спалювання яка відповідає всім вимогам економічності, екологічної безпеки та надійної роботи ВО.

2. Струменево-нішева технологія дає змогу модернізувати низькотемпературні печі малої потужності.

У другому розділі описана методологія та методика проведення досліджень на наступних експериментальних стендах в лабораторних умовах та промислових об'єктах: промислова піч із випікання кексів на фабриці «Хаас-Майнке» в Копенгагені (Данія); піч випалення вапна КМ-14 на ММК ім. Ілліча у Маріуполі; промислова піч із випікання вафельного листу на фабриці «Домінік» в Полтаві.

Висновки. Були описані конструкції та методики іспитів на експериментальних стендах. Обчислені похибки вимірювань.

У третьому розділі описана конструкція та робочий процес печі з випікання кексів на датської фабриці «Хаас-Майнке». Для оцінки ефективності роботи печі і складання її теплового балансу було виміряно ряд узгоджених параметрів: витрата газу на різних технологічних режимах роботи печі; температура продуктів згоряння на виході з печі; температура холодного повітря на вході в піч; температура повітря на вході рециркуляційного вентилятора; температура повітря на вході модуля нагріву; аналіз відпрацьованих газів: CO та NOx, а також температури відхідних газів.

На основі графічних матеріалів показано, що кожному часовому інтервалу режиму відповідає певна кількість, ідентичних між собою циклів. Кожен із циклів включає три характерні зони, що відповідають певним значенням коефіцієнта надлишку повітря. Аналіз отриманих даних дозволив вирахувати втрати метану і також викиди чадного газу на кожному із досліджуваних режимів.

Висновки. Аналіз отриманих даних показав, що існуючий ПП з закрутою потоку окислювача, який працює в імпульсному режимі (періодичне включення на вимикання ПП автоматикою печі, або переривчасте опалення печі, для підтримки

необхідної технологічної температури у топковому просторі печі) в процесі роботи має великі втрати чистого метану від 10% до 40% в переліку на годинний інтервал. Також були зафіксовані наднормативні викиди чадного газу CO.

В четвертому розділі на підставі досліджень описаних в третьому розділі, проведено розрахунок максимального навантаження ПП при технологічній температурі 250 °C (максимальний по витраті газу режим роботи печі). Показано, що існуючий ПП не відповідає своїм паспортним даним. Це вказує на необхідність його заміни, чи модернізації. В якості альтернативи розглянуто близький за тепловою потужністю пальник СНТ-11, що реалізує струменево-нішеву технологію спалювання газу на машині з випалу вапна КМ-14 на ММК ім. Ілліча, де було задіяно шість пальників СНТ-11, та проведені їх іспити.

В результаті обробки результатів випробувань побудовано витратну характеристику ПП СНТ-11, згідно якої видно, що діапазон стійкої роботи одиничного ПП СНТ-11 становить від 1 м. куб/год до 40 м. куб/год. При порівнянні витратних характеристик ПП СНТ-11 з існуючим штатним ПП кекс-печі фабрики ХААС МАЙНКЕ показано, що при заміні даного штатного ПП на пальник СНТ можлива економія палива до 40% на перехідних режимах роботи печі.

Висновки. Досліджено роботу базового модуля пальників СНТ на мінімальних режимах по потужності. Визначено критичні геометричні параметри прямокутного модуля ПП при яких треба переходити до циліндричної форми пілону.

В розділі п'ять приведено конструкція та опис робочого процесу печей по виготовленню вафельного листа фабрики ХААС (м. Відень) та фабрики Домінік (м. Полтава). Було виявлено, що застосування мікрофакельних пальників призводять до ряду суттєвих недоліків, таких як: локальний перегрів вафельниць (нерівномірності прогрівання вафельниць, брак готової продукції), перегрів та руйнування підшипників коліс вафельниць (може призвести до зупинки роботи машини). Також були зафіксовані надмірні викиди чадного газу.

Висновки. Враховуючи виявлені недоліки розглянутих печей було

запропоновані методи вирішення виявлених проблем: запропоновано схему модернізації даних печей на основі струменево-нішевої технології. Виконано попередній розрахунок базового пальника необхідного для модернізації.

В шостому розділі дисертаційної роботи були розглянуті методи усунення недоліків організації топкових процесів в печах GOCMEN и HAAS, та проведено вибір альтернативних ПП. Проведеним розрахунком було показано, що потужність модуля СНТ-11 надвелика, а зниження його геометричних розмірів для зменшення потужності, обмежено критичною шириною ПП, що дорівнює 50 мм, внаслідок руйнування рівномірності течії внаслідок крайових ефектів. Ця обставина призводить до необхідності переходу до пальника циліндричної форми, де крайові ефекти відсутні.

Для вибору оптимальних параметрів ПП було проведено математичне моделювання, на основі якого було створено кілька ПП циліндричної форми і проведені дослідження з метою вибору оптимального ПП. В процесі іспитів було виявлено мінімальний критичний розмір і критичний кут співвідношення струменів газу.

Була підібрана оптимальна конфігурація амбразури ПП та виявлено її вплив на форму та довжину факелу.

Висновки. Таким чином досліджено організацію топкових процесів в печах: а) де пальниковий пристрій працює в імпульсному режимі; б) та в печах де застосовується мікрофакельна технологія спалювання. Виявлені характерні особливості роботи цих печей та запропоновані шляхи підвищення ефективності організації топкового процесу.

Результати дисертаційної роботи були випробувані та затверджені до використання на агломераційної фабрики ММК ім. Ілліча (м. Маріупіль) та у австрійської компанії-виробнику пекарських печей «HAAS FOOD EQUIPMENT GmbH».

Ключові слова: пальник, топковий процес, імпульсний режим, струменево-

нішева технологія, мікрофакельна технологія, печі малої потужності, низькотемпературні пекарські печі, експлуатаційні умови, спалювання, горіння, оптимальне використання тепла, енергетичне обладнання, енергоресурси, математична модель.

SUMMARY

Betin Y.O. Increasing the efficiency of low-power furnaces by means of jet-niche technology - Qualification scientific work on the rights of manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 144 "Heat Power Engineering." - National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 2023.

The preparation was carried out at the Department of Thermal and Alternative Energy of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute".

The first section describes the means of organizing the working process of one of the types - low-temperature low-power furnaces. It is noted that the pulse mode of operation of burner devices and the furnace as a whole is promising.

The variety of alternative fuels and the corresponding differences in their physical and chemical properties, combined with simultaneous changes in the design of energy conversion devices and the need to reduce emissions, create serious problems for the organization of efficient combustion.

The Department of Thermal and Alternative Energy of the Institute of Nuclear and Thermal Energy of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" has been developing burners based on jet-niche technology with a microdiffusion combustion mechanism for several decades, which are characterized by a high level of efficiency, environmental safety and reliability.

One of the main directions for improving the thermal efficiency of fire equipment is

the use of new advanced fuel combustion technologies.

Conclusions. Based on the above information, the following conclusions can be drawn:

1. The main tool for the creation and modernization of existing fire-technical objects (FTO) is the burner device (BD) based on combustion technology that meets all the requirements of efficiency, environmental safety and reliable operation of FTOs.
2. The jet-niche technology allows to modernize low-temperature furnaces of low power.

The second section describes the methodology and methodology for conducting research on the following experimental stands in laboratory conditions and industrial facilities: an industrial cupcake baking oven at the HAAS-MEINCKE factory in Copenhagen (Denmark); lime kiln KM-14 at the Ilyich Iron and Steel Works in Mariupol; and an industrial wafer sheet baking oven at the DOMINIC factory in Poltava.

Conclusions. The designs and methods of tests on the experimental stands were described. The measurement errors were calculated.

The third section describes the design and workflow of the cupcake baking oven at the Danish Haas-Meincke factory. To evaluate the efficiency of the oven and compile its heat balance, a number of agreed parameters were measured: gas consumption at different technological modes of the oven; temperature of combustion products at the outlet of the oven; temperature of cold air at the inlet of the oven; air temperature at the inlet of the recirculation fan; air temperature at the inlet of the heating module; analysis of exhaust gases: CO and NO_x, as well as exhaust gas temperatures.

Based on graphical materials, it is shown that each time interval of the mode corresponds to a certain number of identical cycles. Each of the cycles includes three characteristic zones corresponding to certain values of the excess air coefficient. The analysis of the data obtained made it possible to calculate methane losses and carbon monoxide emissions in each of the studied modes.

Conclusions. The analysis of the data obtained showed that the existing BD with a

twist of the oxidizer flow, which operates in a pulse mode (periodic switching on and off of the PP by the furnace automation, or intermittent heating of the furnace to maintain the required process temperature in the furnace space) during operation has large losses of pure methane from 10% to 40% per hourly interval. Excessive emissions of carbon monoxide CO were also recorded.

In the fourth section, based on the studies described in the third section, the maximum load of the BD at a process temperature of 250 °C (maximum gas consumption mode of the furnace) was calculated. It is shown that the existing BD does not correspond to its passport data. This indicates the need for its replacement or modernization. As an alternative, a burner SNT-11, which is similar in thermal capacity and implements the jet-niche gas combustion technology at the lime kiln KM-14 at Ilyich Iron and Steel Works of Mariupol, where six burners SNT-11 were used, was considered and tested.

As a result of processing the test results, a flow characteristic of the SNT-11 burner was constructed, which shows that the range of stable operation of a single SNT-11 burner is from 1 m. cubic meter per hour to 40 m. cubic meters per hour. When comparing the consumption characteristics of the SNT-11 with the existing standard burner of the cupcake oven of the HAAS MEINCKE factory, it is shown that when replacing this standard burner with the SNT burner, fuel savings of up to 40% are possible in the transient modes of the oven.

Conclusions. The operation of the basic module of SNT burners at the minimum power modes was investigated. The critical geometric parameters of the rectangular module of the BD burner have been determined, at which it is necessary to switch to the cylindrical shape of the pylon.

Section five presents the design and description of the working process of wafer sheet ovens at the HAAS factory (Vienna) and the DOMINIK factory (Poltava). It was found that the use of microflame burners leads to a number of significant disadvantages, such as: local overheating of waffle ovens (uneven heating of waffle ovens, lack of finished products), overheating and destruction of bearings of waffle ovens wheels (can lead to machine shutdown). Excessive carbon monoxide emissions were also recorded.

Conclusions. Taking into account the identified shortcomings of the considered ovens, methods for solving the identified problems were proposed: a scheme for modernizing these ovens based on jet-niche technology was proposed. A preliminary calculation of the basic burner required for modernization was performed.

In the sixth chapter of the thesis, methods for eliminating the shortcomings of the organization of furnace processes in GOCMEN and HAAS furnaces were considered, and alternative BDs were selected. The calculation showed that the power of the SNT-11 module is extremely high, and the reduction of its geometric dimensions to reduce power is limited by the critical width of the BD equal to 50 mm due to the destruction of flow uniformity due to edge effects. This circumstance leads to the need to switch to a cylindrical burner, where there are no edge effects.

To select the optimal parameters of the burner, mathematical modeling was performed, on the basis of which several cylindrical burners were created and studies were conducted to select the optimal burner. The tests revealed the minimum critical size and critical angle of the gas jet ratio.

The optimal configuration of the BD embrasure was selected and its effect on the shape and length of the plume was revealed.

Conclusions. Thus, the organization of furnace processes in furnaces: a) where the burner device operates in a pulse mode; b) and in furnaces where microflame combustion technology is used. The characteristic features of the operation of these furnaces were identified and ways to improve the efficiency of the furnace process organization were proposed.

The results of the dissertation were tested and approved for use at the sinter plant of Ilyich Iron and Steel Works of Mariupol and at the Austrian company that manufactures baking ovens, HAAS FOOD EQUIPMENT GmbH.

Keywords: burner, furnace process, pulse mode, jet-niche technology, microflare technology, low-power ovens, low-temperature baking ovens, operating conditions, burning, combustion, optimal the heat usage, power equipment, energy resources, mathematical model.

Список публікацій здобувача

1. Бетін Ю., Абдулін М. Особливості організації топкового процесу у печах малої потужності, що працюють в діапазоні низьких температур. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2022. Т. 33 (72), № 5. С. 199–204.
2. Бетін Ю., Абдулін М. Дослідження економічності та екологічної безпеки топкових процесів у низькотемпературних печах малої потужності. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2023. Т. 34 (73), № 3. С. 25–30.
3. Бетін Ю., Абдулін М. Підвищення ефективності топкового процесу низькотемпературних печей малої потужності. Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. 2023. №1–2(13–14). С. 55–60.
4. Siryi, O., Abdulin, M., Bietin, Y., Kobylanska, O., Magera, A. Study of Gas-Burning Systems Emission Characteristics Due Hydrocarbon Fuels Combustion. In: Zaporozhets, A. (eds) Systems, Decision and Control in Energy V. Studies in Systems, Decision and Control. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_43- vol 481. Springer, Cham, - (2023) - pp. 751–766
5. Бетін Ю.О., Абдулін М.З. Методи рішення проблем технологічних процесів при експлуатації низькотемпературних печей. Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики. У 2-х т. : Матеріали XIX Міжнар. наук.-практ. конф. молод. вчених і студ., м. Київ, 20–23 квіт. 2021 р. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2021. – Т. 1. – С.251-253.
6. Бетін Ю.О., Абдулін М.З. Випробування стабілізаторно-нішевого пальникового пристрою при спалюванні забаластованих газових палив. Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики. У 2-х т. : Матеріали XIX МНПК молод. вчених і студ., м. Київ, 26–29 квіт. 2022 р. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2022.

7. Бетін Ю.О., Абдулін М.З. Сучасний стан вирішення проблем ефективного спалювання газу. XVIII Міжнародна науково-практична конференція «Теплова енергетика: шляхи реновації та розвитку» м. Київ, 20 жовтня 2022 р. – Київ : ЗБІРКА НАУКОВИХ ПРАЦЬ XVIII Міжнародна науково-практична конференція «ТЕПЛОВА ЕНЕРГЕТИКА: ШЛЯХИ РЕНОВАЦІЇ ТА РОЗВИТКУ», 2022 р. – Т. 1. – С.214-219.

	ЗМІСТ	
	ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ...	17
	ВСТУП.....	20
Розділ 1	ГОРІННЯ - НАЙВАЖЛИВІШИЙ ЧИННИК ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВОГНЕТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ. ОРГАНІЗАЦІЯ ГОРІННЯ У ВОГНЕТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЯХ.....	26
1.1	Сучасний стан теорії горіння.....	26
1.2	Горіння, як складова частина топкового процесу.....	30
1.3	Властивості газоподібного палива та забезпечення стійкості його горіння.....	35
1.4	Теплопередача.....	40
1.5	Струменево-нішева технологія спалювання палива... ..	43
1.6	Газодинамічні схеми надання палива і окиснювача у пальникових пристроях.....	46
1.7	Робочий процес пальникових пристроїв.....	50
1.8	Організація топкового процесу за допомогою імпульсного режиму роботи ПП.....	53
1.9	Класифікація промислових печей. Низькотемпературні промислові печі малої потужності.....	55
1.10	Конструкції та вимоги до низькотемпературних печей малої потужності в харчовій промисловості.....	58
	1.10.1 Теплові механізми у хлібопекарських печах...	59
	1.10.1.1 Конвективний нагрів.....	60
	1.10.1.2 Радіаційний нагрів.....	60
	1.10.1.3 Кондуктивний нагрів.....	61

	1.10.2 Пекарні печі безперервної дії	61
	1.10.2.1 Тунельна хлібопекарська піч	61
	1.10.2.2 Пекарська піч з рухомим листом	64
	1.10.3 Нові печі для випікання	66
	1.10.3.1 Інфрачервона піч	66
	1.10.3.2 Мікрохвильова піч	68
	1.10.3.3 Ударна піч	69
	1.10.3.4 Комбінована піч	70
1.11	Висновки до розділу 1	71
Розділ 2	Методологія та методика проведення досліджень	73
2.1	Опис експериментальних стендів та промислового обладнання. Методики проведення досліджень	74
	2.1.1 Конструкція експериментального, промислового обладнання фабрики ХААС-МАЙНКЕ для вивчення характеристик робочого процесу ПП вихрового типу, працюючого в імпульсному режимі.	74
	2.1.2 Методика проведення натурного експерименту .	75
	2.1.3 Методика обробки експериментальних даних . . .	77
	2.1.4 Конструкція експериментальної машини КМ-14 аглофабрикі заводу ММК «імені Ілліча»	77
	2.1.5 Методика проведення натурного експерименту .	79
	2.1.6 Методика обробки експериментальних даних . . .	81
	2.1.7 Конструкція печі для випічки вафельного листу фабрики Доминик (м. Полтава)	81
	2.1.8 Методика проведення натурного експерименту .	83
	2.1.9 Методика обробки експериментальних даних . . .	84
	2.1.10 Конструкції лабораторних експериментальних	85

	стендів	
	2.1.10.1 Експериментальний стенд лабораторії НВО СНТ для дослідження роботи плоских пілонів ..	85
	2.1.10.2 Експериментальний стенд лабораторії НВО СНТ для дослідження роботи циліндричних пілонів ...	86
	2.1.10.3 Експериментальний стенд лабораторії КПП для дослідження впливу управління формою факелу профілюванням амбразурі ПП з циліндричним пілоном	87
	2.1.11. Методика проведення досліджень на лабораторних експериментальних стендах	88
	2.1.12 Методика обробки експериментальних даних ..	88
2.2	Прилади та оцінка похибок вимірювання	90
	2.2.1. Похибка визначення витрати та тиску палива ...	91
	2.2.2. Похибка вимірювання температурних характеристик	91
	2.2.3. Похибка вимірювання емісійних характеристик	92
2.3	Висновки до розділу 2	93
Розділ 3	Дослідження закономірностей та особливості робочого процесу ПП вихрового типу, що працює в імпульсному режимі на дослідно-промисловому зразку печі з випікання кексів на фабриці НАAS-MAINCKE (м. Копенгаген, Данія)	94
3.1	Конструкція та особливості робочого процесу печі	94
3.2	Обробка результатів досліджень	98
	3.2.1. Перший технологічний режим	102

	3.2.2. Другий технологічний режим	109
	3.2.3. Третій технологічний режим	116
3.3	Висновки до розділу 3	123
Розділ 4	Вибір пального пристрою для кекс-печі фабрики НААС-МАЙНСКЕ та проведення досліджень його роботи на машині КМ-14 випалу вапна	125
4.1	Обґрунтування вибору ПП для кекс-печі фабрики ХААС-МАЙНСКЕ	125
4.2	Призначення та конструкція машин КМ-14 аглофабрики ММК «імені Ілліча»	129
4.3	Модернізація машини КМ-14 на основі струменево-нішевої технології	131
4.4	Вивчення робочого процесу ПП СНТ 11 встановленого на машині КМ-14	138
4.5	Аналіз отриманих результатів	138
4.6	Висновки до розділу 4	141
Розділ 5	Дослідження робочого процесу печей по виготовленню вафельного листа фабрики НААС (м. Відень; Австрія) та фабрики ДОМІНІК (м. Полтава; Україна)	142
5.1	Конструкція печей та опис робочого процесу	142
5.2	Дослідження впливу довжини факелів існуючих газових форсунок на елементи конструкції печі	143
5.3	Методи усунення виявлених недоліків	150
5.4	Висновки до розділу 5	152
Розділ 6	Методи усунення існуючих недоліків організації топкових процесів в печах GOCMEN і НААС. Вибір	153

	альтернативних ПП	
6.1	Теоретичне обґрунтування методу вирішення проблеми організації топкового процесу	153
6.2	Визначення критичного характерного розміру ПП СНТ-11 при зменшенні його потужності та геометричних розмірів	154
6.3	Комп'ютерне моделювання. Вибір оптимальних параметрів ПП циліндричної форми	157
6.4	Адаптація запропонованого палиникового пристрою СНТ до потрібних витрат газу в печі по виготовленню вафельного листа. Прив'язка його геометричних розмірів	160
6.5	Формування необхідних конфігурацій полів концентрацій та температур у ПП СНТ з циліндричним пілоном діаметром 16 мм	172
6.6	Висновки до розділу 6	177
ВИСНОВКИ.....		178
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		182
ДОДАТОК А		192
ДОДАТОК Б.....		193
ДОДАТОК В		194
ДОДАТОК Г		220
ДОДАТОК Д.....		221
ДОДАТОК Е.....		222
ДОДАТОК Ж		223
ДОДАТОК З		224

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ

Умовні позначення:

Q_n^p – нижча теплота спалювання палива, КДж/(м³);

F - площа перетину повітряного каналу, м²;

K_f - коефіцієнт захаращення прохідного перетину потоку;

P - тиск, Па;

l_ϕ - довжина факелу, м;

N_n - теплова потужність пальника, МВт

T - температура в області горіння, К;

T_o - температура окисника, К;

η_z - коефіцієнт повноти згоряння палива;

W – швидкість потоку, м/с;

ζ - коефіцієнт місцевого аеродинамічного опору;

α - коефіцієнт надлишку повітря;

λ - коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К);

G - витрата, г/с;

α_Σ - балансний коефіцієнт надлишку повітря в СНС;

L_0 - стехіометричний коефіцієнт;

L - довжина ніші, мм;

H - глибина ніші, мм;

H_k - висота повітряного каналу, мм;

d - діаметр газоподавальних отворів, мм;

– S - відносний крок розташування паливних отворів;

L_1 - відстань від газоподавальних отворів до зривної кромки ніші;

q - гідродинамічний параметр;

h_c - далекобійність струменів палива;

Q - кількість теплоти, Дж;

n - коефіцієнт масообміну;

m - кількість газоподавальних отворів в паливному колекторі, шт;

Re - число Рейнольдса;

Fr - число Фруда;

g - гравітаційне прискорення, m/s^2

ρ - густина, kg/m^3 ;

ν - коефіцієнт динамічної в'язкості, m^2/s ;

C_p - питома ізобарна теплоємність, $KJ/(m^3 \cdot K)$;

ζ - коефіцієнт гідравлічного опору;

Основні індекси:

Π - повітря;

Γ - паливо;

CM - паливноповітряна суміш;

K - повітряний канал;

CC – стабілізація факелу на струменях;

Основні скорочення:

ПП - пальниковий пристрій;

ВО - вогнетехнічний об'єкт;

ККД - коефіцієнт корисної дії;

КЗ - камера згоряння;

СНС - струменево-нішева система;

СНТ - пальники струменево-нішевого типу;

ЖКГ - житлово-комунальне господарство;

ЗЗС - зона зворотніх струмів;

$K_{p.p}$ - коефіцієнт робочого регулювання пальника;

НВП – науково-виробниче підприємство;

ТАЕ - Кафедра теплової та альтернативної енергетики;

НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського» - Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

ВСТУП

Актуальність теми. У зв'язку з енергетичною та екологічною кризою у світі зростає зацікавленість у більш економічному та екологічному спалюванні палива вогнетехнічними об'єктами, зокрема промисловими печами різної потужності та призначення. Ця обставина визначає актуальність моєї роботи, яка полягає у:

- суттєвої економії газового палива;
- поліпшенні екологічних характеристик;
- зниженні витрати газу на одиницю продукції;
- підвищенні якості продукції печей, задіяних у харчовій промисловості як в Україні, так і за кордоном. Зокрема у кондитерській галузі харчової промисловості.

Дослідження топкових процесів промислових печей відображені у роботах таких учених як Єрінов Анатолій Веремійович, Абдулін Михайло Загретдинович, Сорока Борис Семенович, Христич Володимир Олександрович, Сігал Ісаак Якович, Фіалко Наталія Михайлівна та ін.

Промислові печі набули широкого застосування у різних галузях промисловості. Вони різноманітні за своїм призначенням, областями застосування та видами використовуваної енергії.

У моєї дисертаційної роботі увага приділяється пекарським печам харчової промисловості малої потужності, які працюють на газоподібному паливі в діапазоні низьких температур.

Огляд досліджень топкових процесів промислових печей показав, що існує значна їх кількість для високотемпературних і середньотемпературних печей. Однак існує недостатність уявлення про топкові процеси в низькотемпературних печах малої потужності.

До речі, для високотемпературних печей допускається температурна нерівномірність десятки градусів по топковому простору. При цьому для низькотемпературних печей допустимий рівень нерівномірності значно нижчий.

Із проблемами ефективної організації топкових процесів у низькотемпературних печах малої потужності зіткнулися світові виробники пекарських ліній для харчової промисловості. З метою підвищення рівня ефективності організації топкового процесу у печах з виробництва кексів та вафельних листів у науково-виробниче підприємство (НВП) "СНТ", діловим партнером, якого я є, звернулося керівництво компанії "HAAS FOOD EQUIPMENT GmbH" - одного з найбільших у світі виробників низькотемпературних кондитерських печей, заводи якої розташовані на п'яти континентах.

Керівництво кондитерської фабрики «Домінік» (м. Полтава) також запропонувало НВП «СНТ» розглянути можливість підвищення рівня ефективності організації топкового процесу низькотемпературної турецької печі GOSMAN, яка виробляє вафельні листи з дотриманням міжнародних норм екологічності, надійності та економічності роботи печі.

Належало вирішення завдання, що складається з двох частин - оскільки принципи та підходи організації топкового простору в цих печах були різні:

1. У печі для виробництва кексів топковий процес в нагрівальному модулі був організований за допомогою ПП вихрового типу, що працює в імпульсному режимі;
2. У вафельній печі топковий процес був організований безліччю міні-пальників, що реалізують мікрофакельну технологію.

Для вирішення поставлених завдань використовувалися експериментальні методи дослідження та методи математичного моделювання. Як методи обробки експериментів були використані методи математичної статистики.

Було прийняте рішення по використанню базового модуля СНТ для створення пальникового пристрою щодо вирішення поставлених завдань та проведення його іспитів в промислових умовах на реальному об'єкті, в чому раніше не було потреби. Струменево-нішева технологія (СНТ) є однією з найбільш ефективних паливоспалюючих вітчизняних технологій, яка спроможна ефективно та надійно

працювати в широкому діапазоні робочих навантажень. На основі СНТ проведено модернізацію більше тисячі вогнетехнічних об'єктів в Україні та інших країнах.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась відповідно до Закону України «Про енергозбереження», затвердженого Постановою Верховної Ради України № 74 \ 94 01.07.1994 р.; «Основних положень енергетичної стратегії України на період до 2030 р.», прийнятих Кабінетом Міністрів України 15.03.2006 р. Робота є складовою досліджень, проведених в рамках виконання держбюджетних науково-дослідних робіт 4.01 «Розробка методів та засобів підвищення ефективності обладнання теплових електростанцій та газотурбінних установок», Д/р № 0116U005215 (2016 – 2020 рр.)

Мета і задачі дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає у визначенні шляхів підвищення рівня ефективності організації топкового процесу в пекарських печах малої потужності, що працюють у діапазоні низьких температур за рахунок створення паликових пристроїв, що реалізують принципи струменево-нішевої технології. Це дозволить суттєво збільшити діапазон робочого регулювання стійкої роботи палика, дотримання міжнародних норм екологічності, надійності та економічності роботи печі, також гарантованого дотримання технологічних вимог до температурної рівномірності по топковому простору.

Об'єкт дослідження:

- Імпульсний режим роботи паликових пристроїв (ПП) і печей в цілому;
- Організація топкового процесу печей на основі мікрофакельної технології;
- Робочі процеси в паликових пристроях малої потужності.

Предмет дослідження:

- Закономірності процесів сумішоутворення, стійкості горіння, якості вигорання та формування температурних полів при роботі пп в

імпульсному режимі;

- Закономірності елементів робочого процесу палинкових пристроїв малої потужності.

Методи дослідження. Вирішення поставлених задач досягалося дослідями проблем на реальних промислових об'єктах, використанням експериментальних, чисельних методів, а також випробувань в промислових умовах запропонованих технічних рішень. Кінцеве впровадження супроводжувалося випробуваннями модернізованих агломераційних печей на основі СНТ в умовах промислової експлуатації. Достовірність отриманих даних порівнювалась з результатами лабораторних експериментів. Обробка та узагальнення експериментальних, чисельних та промислових результатів проводилася за допомогою відповідного програмного забезпечення.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Вперше докладно досліджено широко розповсюджений в пічній техніці імпульсний режим роботи палинкових пристроїв при цьому виявлено особливості робочого процесу ПП та печі в цілому. Експериментально отримані унікальні дані в період включення і вимикання ПП щодо вмісту в продуктах згоряння незгорілого метану (близько 20% від загальної витрати) та наднормативних викидів чадного газу СО (близько 16% часу роботи ПП) і зміна температурного рівня в топковому просторі.

2. Вперше досліджено вплив крайових ефектів на базовому плоскому модулі СНТ при зменшенні ширині його газорозподіляючої поверхні. Виявлено його критичний розмір 50 мм, що забезпечує теплову потужність в 10 кВт.

3. Вперше встановлено вплив конструктивних параметрів циліндричного пілона з паливорозподільчою системою на робочий процес палинкового пристрою та виявлено критичне значення діаметру пілону в 10 мм, що відповідає певному куту в 22 градусі між осями газороздаючих отворів. При цьому тепла потужність становить 4 кВт.

4. Вперше реалізовано можливість роботи циліндричного модуля з довжиною факела не більше 2 калібрів пальникового модуля, за рахунок профілювання амбразури.

5. Заповнено типоряд ПП СНТ по потужності: від 40 000 кВт до 4 кВт, яка забезпечує існуючі потреби вогнетехнічного опалення.

Практичне значення одержаних результатів

1. В результаті проведених досліджень показані недоліки вихрових ПП, що працюють в імпульсному режимі.

2. На основі досліджень особливостей імпульсного режиму роботи пальника було розроблено промислові ПП необхідної потужності для вирішення існуючих проблем на фабриці HAAS MEINCKE (м. Копенгаген, Данія). Отримані матеріали відносно розробленого пальника, що відповідав усім вимогам робочого процесу кондитерської кекс-печі, були прийняті та схвалені керівництвом «HAAS FOOD EQUIPMENT GmbH» (Franz Haas-Straße 1, 2100 Leobendorf, Австрія).

3. Розроблений ПП був задіяний при проведенні модернізації 4 машин випалу вапна (КМ-14) на ММК Ілліча, що працюють у діапазоні навантажень 8-40 м.куб/год з високою ефективністю (50% економії палива) на що є відповідні референції.

4. У результаті проведення досліджень на експериментальних стендах та застосування комп'ютерного моделювання було створено та успішно випробувано в лабораторних умовах ПП нового типу з циліндричним пілоном. Створений циліндричний ПП на основі струменево-нішової технології дає можливість удосконалити організацію топкового процесу в кондитерських печах.

5. Розроблено та передано документацію в НВО СНТ щодо використання циліндричних ПП для об'єктів малої потужності.

6. НВО СНТ високо оцінило результати роботи і прийняло їх для подальшого впровадження в різних сферах своєї діяльності.

Особистий внесок здобувача Усі дані, стосовно дисертаційної роботи

здобувачем одержані особисто. Також самостійно були проведений аналіз та обробка експериментальних даних стосовно данської печі. Здобувачем самостійно були розроблені конструкції пальників, на основі яких була проведена модернізація обжигової машини та конструкції пальників щодо печі випікання вафельного листа. Все що стосується планування експериментів, обробки отриманих результатів та аналізу отриманих даних, Здобувачем зроблено особисто. Автор безпосереднє приймав участь у проведенні лабораторних випробувань, замірів всіх необхідних параметрів для аналізу кількості та якості продуктів згоряння досліджуваних об'єктів. Всі розрахунки автор виконував самостійно. Аналіз результатів експериментальних досліджень, а також їх узагальнення, промислові випробування ПП із урахуванням результатів дисертації проведені при безпосередньої участі здобувача.

Апробація результатів дисертації Основні положення дисертації заслуховувались та обговорювались на: XVIII, XIX та XX -й міжнародних науково-практичних конференціях аспірантів, магістрантів, студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», НТУУ «КПІ», ТЕФ (Київ, Україна, 2021, 2022, 2023 рр.); XVIII Міжнародна науково-практична конференція «Теплова енергетика: шляхи реновації та розвитку» (Київ, Україна, 20 жовтня 2022 року); на наукових семінарах кафедри ТЕУ Т та АЕС НТУУ «КПІ» «Підвищення ефективності використання органічних палив в енергетиці та промисловості» присвячених пам'яті видатного вченого в галузі створення технологій спалювання Христича В.О. НТУУ «КПІ» (м. Київ, листопад 2019, 2021, 2022, 2023 рр.).

Робота складається зі вступу, п'ятих розділів, висновків, списку використаних джерел. Обсяг роботи становить 232 сторінки, у тому числі список використаних джерел зі 104 найменувань на 10 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ГОРІННЯ - НАЙВАЖЛИВІШИЙ ЧИННИК ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВОГНЕТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ. ОРГАНІЗАЦІЯ ГОРІННЯ У ВОГНЕТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЯХ

1.1. Сучасний стан теорії горіння

Сучасна теорія горіння базується на фундаментальних засадах фізики та хімії та активно використовує методи чисельного моделювання, експериментальних досліджень та інженерних додатків. Вона має широкі практичні застосування в галузі енергетики, авіації, промисловості та навколишнього середовища.

Дослідженнями в області горіння на даний час займається низка великих міжнародних науково-дослідних центрів:

- Дослідницький центр Combustion Energy Frontier (CEFRC) був створений Міністерством енергетики США (DOE) у серпні 2009 року як один із 46 нових центрів по всій країні, які займаються вирішенням нагальних проблем енергетичної стійкості, енергетичної безпеки та зміни клімату. CEFRC, що фінансується у розмірі 20 мільйонів доларів протягом 5 років і очолюваний професором Чанг К. Лоу з Прінстонського університету, займається спалюванням копалин та альтернативних видів палива для виробництва тепла та електроенергії. Дослідницьку групу очолюють 15 провідних вчених країни в галузі горіння із семи академічних інститутів та двох національних лабораторій.

Головною метою CEFRC є розробка перевірених, прогнозуючих, багатомасштабних можливостей моделювання згоряння для оптимізації конструкції пальників та роботи з різними новими видами палива.

На думку керівника CEFRC професора Чанг К. Лоу, при визначенні цієї мети визнається, що радикальні зміни у паливних компонентах та експлуатаційних характеристиках пристроїв перетворення енергії необхідні протягом наступних

кількох десятиліть у міру того, як світ відмовляється від палива для транспорту, отриманого з нафти. Традиційні емпіричні підходи до розробки нових двигунів та сертифікації нових видів палива призвели лише до поступових покращень, і тому вони не можуть вирішити ці величезні проблеми своєчасно та економічно ефективно. Досягнення необхідного високого рівня інновацій вимагатиме автоматизованого проектування. Різноманітність альтернативних видів палива, включаючи паливо, отримане з біомаси, та відповідні відмінності у їх фізичних та хімічних властивостях, у поєднанні з одночасними змінами у конструкції пристроїв перетворення енергії/стратегії управління, необхідними для підвищення ефективності та скорочення викидів, створюють величезні технічні проблеми. Ці проблеми особливо складні, оскільки ефективність перетворення енергії та викиди вихлопних газів регулюються пов'язаними хімічними та транспортними процесами у різних масштабах, починаючи від електронного збудження та закінчуючи молекулярними перегрупуваннями, утворенням нанорозмірних частинок та турбулентним змішуванням палива та повітря. На щастя, нещодавні досягнення в квантовій хімії, хімічній кінетиці, моделюванні реактивних потоків, високопродуктивних обчисленнях та експериментальній діагностиці припускають, що можливі інструменти прогнозування, що ґрунтуються на перших принципах, для оптимальної інтеграції методологій перетворення/управління енергією та нових складів палива. [1]

- Всесвітньо відомий дослідницький центр CCRC, створений при Університеті науки і технологій короля Абдалли (KING Abdullah University of Science and Technology; KAUST) і Саудівська Аравія, що базується в Королівстві. Центр займається передовими рішеннями глобальних проблем, пов'язаних зі спалюванням копалин, таких як контроль забруднення, боротьба з глобальним потеплінням та зміною клімату, а також стійке використання палива. Основними напрямками науково-дослідної роботи CCRC є: екстремальні умови горіння, розширена діагностика для екстремальних умов горіння, високоточні обчислення

для екстремального горіння, низькосортне паливо, альтернативні види палива, плазмове та електронне горіння, нові технології спалювання, удосконалений двигун внутрішнього згорання. Однією з основних цілей досліджень у галузі нових технологій спалювання є дослідження нового пальника, що використовує аксіально-симетричну криволінійну стінку струменя з використанням двох окремих вигнутих щілин, очолюване директором науково-дослідного центру чистого горіння, професором машинобудування, доктором філософії паном Вільям (William L. Roberts, Ph.D.). [2]

- Центр досліджень горіння Індійського технологічного інституту Мадраса (IIT Madras). Національний центр досліджень та розробок у галузі горіння (NCCRD) проводить дослідницьку роботу в таких галузях, як газифікація, спалювання палива, силова установка та автомобілебудування. Це один із найкращих діагностичних центрів в Індії для розуміння процесів горіння.

У центрі створено спеціальні програми, такі як "Газифікація вугілля", "Альтернативні джерела енергії" та інші. Будь-який інститут і галузь можуть працювати з NCCRD, оскільки він повністю підтримує IT і має потужні засоби моделювання.

Національний центр досліджень та розробок у галузі горіння (NCCRD) підтримується Радою з наукових та інженерних досліджень Департаменту науки та технологій (DST) уряду Індії.

Розповідаючи про важливість цього Центру досліджень горіння, академік, директор Індійського технологічного інституту в Мадрасі, професор Бхаскар Рамамурті зауважив: «Енергія, викиди вуглекислого газу та забруднюючих газів стали дуже важливими через зміну клімату, глобальне потепління та інші наслідки, які спричиняє горіння. Цей центр відіграватиме ключову роль у забезпеченні доступу Індії до новітніх технологій у всіх цих галузях».

- Міжнародний інститут горіння – це некомерційне міжнародне наукове товариство, метою якого є просування досліджень та поширення результатів у галузі

науки про горіння. Основні види діяльності Інституту горіння включають організацію Міжнародного симпозиуму з горіння і публікацію досліджень горіння, що проводиться раз на два роки, в офіційному журналі Combustion and Flame редакційну колегію якого очолюють Фокіон Егольфопулос та Тьєррі Пуансо (Thierry Poinsot; Toulouse Institute of Fluid Mechanics, Toulouse, France). Статті [3, 4, 5] – одні з актуальних статей останнього випуску.

Інститут горіння відкрито всім, хто цікавиться дослідженнями явищ горіння. Його члени мають досвід роботи у таких різних галузях, як фізична хімія, паливна технологія, гідродинаміка, проектування двигунів внутрішнього згоряння, дослідження пожеж, дослідження навколишнього середовища, машинобудування та аерокосмічна техніка, а також дослідження детонації.

24 країни беруть участь у Інституті горіння. Як правило, членство кожної країни складається з секції.

Тільки німецьке представництво Міжнародного інституту горіння (The Combustion Institute) включає понад 40 інститутів і 5 професійних спільнот, які займаються дослідженнями, пов'язаними з горінням, у Німеччині, Швейцарії та Австрії. [6]

Неоціненний внесок у сучасну теорію горіння було внесено завдяки дослідженням українських вчених, серед яких слід згадати: академіка Юрія Горбатенка, академіка Валентина Нечипоренка; академіка Валентина Зарубіна; професора Юрія Духовницького; професора Валентина Коваленко та ін.

В Україні дослідженнями в галузі горіння займаються такі наукові структури як:

- Відділ малої енергетики інституту технічної теплофізики Національної академії наук України під керівництвом доктора технічних наук, професора, Фіалко Наталії Михайлівни. Серед останніх розробок очолюваного нею відділу є технології мікрофакельного спалювання палив. [7]

- Відділ захисту атмосферного повітря від забруднення Інституту газу Національної академії наук України під керівництвом завідуючого відділом, кандидата технічних наук Сміхула Анатолія Володимировича. Одними з напрямків діяльності відділу є такі інноваційні розробки: «Методи та обладнання для зниження викидів оксидів азоту в атмосферу котлоагрегатами» та «Спільне спалювання біогазу та природного газу». [8]

- Кафедра теплової та альтернативної енергетики інституту атомної та теплової енергетики Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Протягом декількох десятиріч років на кафедрі виконувались розробки та впровадження пальникових пристроїв струменево та струменево-стабілізаторного типу, які характеризуються високим рівнем інтенсифікації та стабілізації процесу горіння. Підсумком цих досліджень є низка технологій спалювання газоподібних палив, реалізованих у пальникових пристроях, розроблених та сконструйованих згідно з принципами даних технологій.

1.2 Горіння, як складова частина топкового процесу

Горіння є однією з ключових складових топкового процесу, який використовується для забезпечення теплової енергії шляхом спалювання палива. Топковий процес відіграє важливу роль у різних галузях, таких як енергетика, опалення, промисловість і багато інших.

Залежно від швидкості реакції розрізняють два основних типи горіння: повільне та детонаційне. Повільне горіння також відоме як дефлаграційне. Воно поширюється із дозвуковою швидкістю, за рахунок передачі тепла від високотемпературних продуктів згоряння до свіжої горючої суміші. Детонаційне горіння виникає завдяки нагріванню вихідних компонентів ударною хвилею, що рухається із надзвуковою швидкістю. Залежно від способу перебігу, повільне

горіння поділяють на турбулентне та ламінарне. За певних умов турбулентне горіння може перетворитися на детонаційне. [9, 10]

Коли окиснювач і паливо знаходяться в різних фазах, горіння називається неоднорідним. Реакція окислення переважно відбувається в газовій фазі шляхом дифузії, тоді як частина тепла використовується для термічного розкладання та випаровування палива.

Залежно від впливу процесу змішування палива з окиснювачем розрізняють два види горіння: кінетичне та дифузійне горіння.

Кінетичне горіння - це процес горіння, що визначається швидкістю хімічних реакцій між горючою речовиною та окиснювачем. Цей процес залежить від швидкості хімічних реакцій у газовій фазі і зазвичай описується кінетичними рівняннями, які враховують концентрації реагуючих речовин та температуру.

Кінетичне горіння включає стадії ініціації, продовження і завершення горіння. У стадії ініціації відбувається активація палива, наприклад, вибухової речовини або палива, щоб розпочати хімічні реакції. Продовження горіння пов'язане з поширенням полум'я та подальшими хімічними реакціями в полум'яній хвилі. Завершення горіння відбувається, коли доступні реагенти вичерпуються або зміняться.

Дослідження кінетичного горіння допомагає розуміти, які реакції та процеси протікають під час горіння, та які фактори впливають на швидкість та характер горіння.

Дифузійне горіння - це процес горіння, який відбувається в умовах, коли горюча суміш поєднується з навколишнім повітрям або окислювачем настільки повільно, що реакція горіння протікає через полум'яний фронт, який поширюється наявністю різних компонентів та дифузією їх молекул уздовж фронту.

На відміну від турбулентного або ламінарного горіння, де суміш активно переміщується і реакції відбуваються в областях високої концентрації горючої речовини та окислювача, у разі дифузійного горіння процес повільніший через обмежену дифузію компонентів. Цей тип горіння часто супроводжується плоским

фронтом горіння і може мати нижчу швидкість поширення проти іншими типами горіння. Дифузійне спалювання органічного палива найбільш поширене на промислових підприємствах.

Мікродифузійне горіння. Дане поняття ввів Давид Альбертович Франк-Каменецький [11].

Мікродифузійний процес горіння відноситься до того типу горіння, де паливо розділяється на дрібні порції і розподіляється у потоці окислювача. Отже, швидкість реакції залежить від процесу мікрозмішування компонентів реакції. (рис. 1.1).

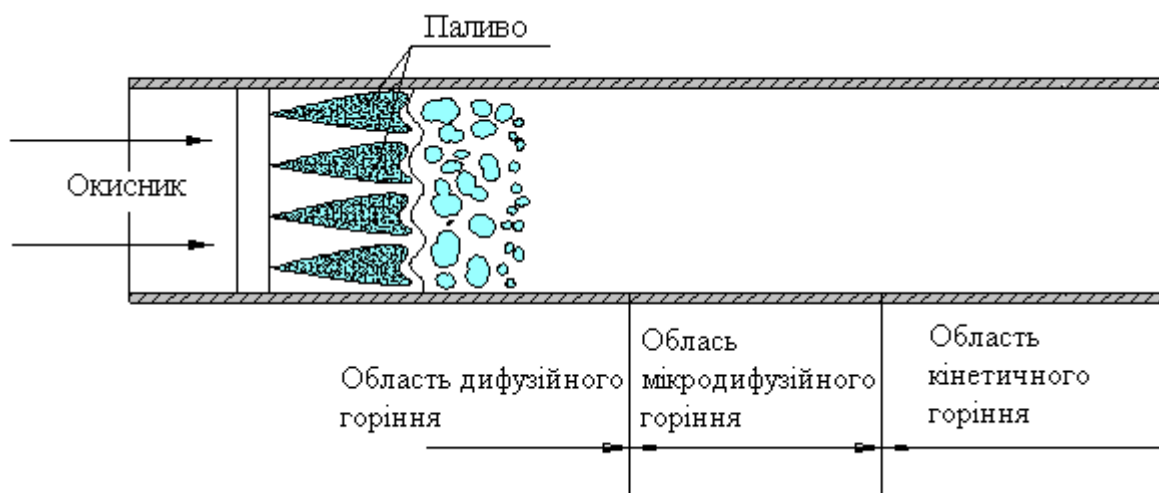


Рис. 1.1 - Механізми спалювання газоподібних палив

Час, потрібний для ефективного перемішування паливної суміші до горючих концентрацій, є сумірним з часом, необхідним для реакції пального та окислювача. Значення параметра масштабу співвідношення часток пального в об'ємі окислювача (δ), також важливе для цього процесу. Турбулентний потік дробить паливні та окислювальні комірки, утворюючи структуру. Потім полум'я поширюється по поверхні паливних комірок. Тому для досягнення мікродифузійного горіння необхідно змінювати співвідношення швидкостей змішування хімічних реакцій на мікрорівні.

Отже, змінюючи умови процесу, можна впливати на дифузійні або кінетичні характеристики горіння, і найвища інтенсивність горіння призводить до переходу у кінетичний режим. [12].

Результати експерименту, що стосується мікродифузійного горіння, наведені на рисунку 1.2. Було проведено порівняльний аналіз швидкості горіння палива при різних коефіцієнтах надлишкового повітря пальника ($\alpha = 1,2$ і $\alpha = 1,5$) між режимами кінетичного і мікродифузійного горіння. Доля витратившогося газу в конкретному моменті визначалася за допомогою розрахунків і контролювалася газовим аналізом.

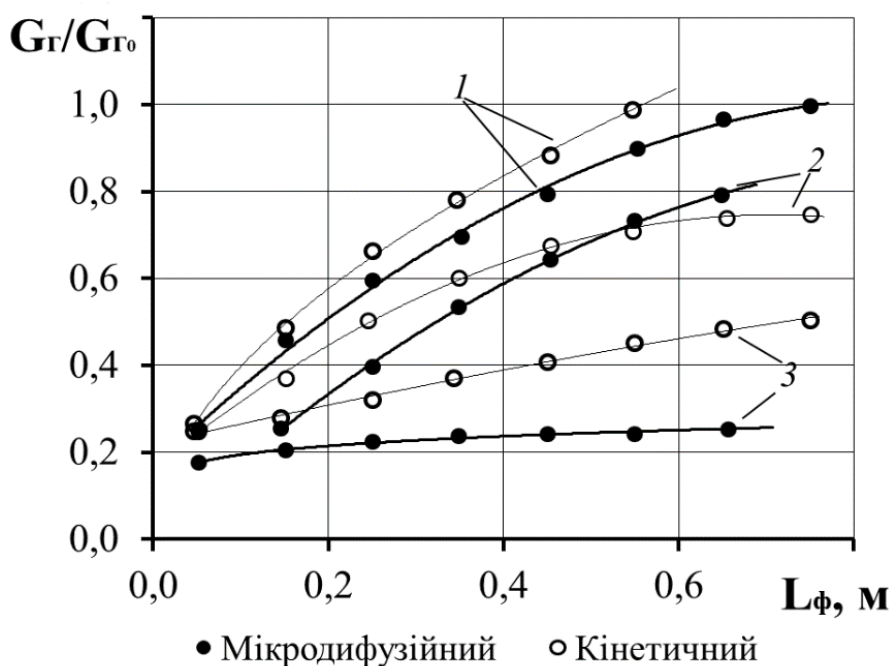


Рис. 1.2 Динаміка вигорання газу у відносних одиницях вздовж осі камери, 1 - $\alpha \Sigma = 1,2$; 2 - $\alpha \Sigma = 1,5$; 3 - $\alpha \Sigma = 4,8$

У результаті дослідження виявлено, що криві горіння подібні одна до одної в області, де можливо безпосередньо виміряти характеристики процесу. Для сумішей з недостатньою кількістю пального на початковому етапі зони горіння, інтенсивність мікродифузійного горіння вища, оскільки при балансованому коефіцієнті надлишку повітря рівень місцевого надлишку характеризується меншою шириною переднього краю полум'я. Пізніше інтенсивність горіння при використанні мікродифузійного

механізму спалювання природного газу трохи відстає від інтенсивності горіння за кінетичного механізму. У той же час, мікродифузійний факел має гораздо більший діапазон горіння за відсотком надлишку повітря пальника α , порівняно з кінетичним. У цьому випадку було встановлено, що в одній і тій же камері згоряння інтенсивність мікродифузійного горіння при значенні α , яке відповідає концентраційним межам розповсюдження полум'я, практично збігається з інтенсивністю кінетичного горіння. [13].

За даними цього дослідження можна зробити висновок, що проміжний мікродифузійний режим горіння успішно поєднує в собі характеристики процесів дифузійного і кінетичного горіння, які найбільш сприяють досягненню високої ефективності робочого процесу ПП.

Полум'я - це видима зона горіння, що складається з іонізованих газів, що світяться і випромінюють енергію у вигляді світла та тепла. Температура полум'я визначається складом паливної суміші і умовами, в яких протікає процес горіння.

Температура спалювання природного газу може варіювати в залежності від точного складу газу та умов горіння і може досягати приблизно 2050°C за стандартних умов повітря та газу (нормальний тиск і температура). Колір факела встановлюється через наявність вільних радикалів і молекул, які перебувають у збудженому коливальному стані. Це пов'язано з частотою квантових переходів реагуючих частинок, які істотно внесли свій внесок у випромінювання видимої частини спектра.

Більшість випромінювання спостерігається в інфрачервоній області спектра. Це стосується, з одного боку, твердої сажі або частинок палива і, з іншого боку, коливально збуджених молекул CO , CO_2 і H_2O . [14]. В аналітичній хімії здатність домішок забарвлювати полум'я в різні кольори використовується для пірохімічного аналізу та для візуалізації потоків.

Полум'я вуглеводневого палива може взаємодіяти з електромагнітним полем завдяки зарядженим частинкам у його складі. Експериментально встановлено, що

концентрація іонів у полум'ї може бути на 4-6 порядків вище, ніж концентрація, яка спостерігалася б за механізму чисто термічної іонізації, так що в цьому випадку полум'я може поводитися як слабо іонізована плазма [15].

Склад горючої суміші визначається молярним або масовим вмістом реакційних компонентів, початковим тиском і температурою. Якщо всі компоненти повністю реагують і перетворюються в продукти реакції, то таку суміш називають стехіометричною. Якщо в суміші є більше повітря, ніж необхідно, то її називають "бідною", а якщо є недостатня кількість палива, то "багатою". Коефіцієнт надлишку повітря визначає ступінь відхилення складу суміші від стехіометричного стану:

$$\alpha = \frac{G_{\Pi}}{G_{\Gamma} L_0} \quad (1.1)$$

Термін "теплота згоряння палива" відомий також як "теплота реакції горіння". Ця величина визначає кількість теплової енергії, яка вивільняється під час повного окислення (горіння) вихідних компонентів до CO_2 та H_2O для вуглеводневих палив. У реальних умовах частина енергії витрачається на процес дисоціації продуктів, що призводить до того, що температура адіабатичного горіння значно вища, ніж та, яку можна досягти на практиці. [16].

1.3 Властивості газоподібного палива та забезпечення стійкості його горіння

На здатність до згоряння, ефективність горіння, утворення викидів та інші аспекти топкового процесу істотно впливають властивості газоподібного палива. Розуміння хімічних і фізичних властивостей газоподібного палива є важливим для правильного проектування та оптимізації систем згоряння.

Горіння — це серія екзотермічних ланцюгових реакцій окислення речовини, у ході яких утворюються продукти реакції (не тільки кінцеві, а й проміжні) [17, 18].

Визначений рівень енергії активації E потрібен для забезпечення проходження реакції. Він кількісно характеризує енергію, яка необхідна для руйнування міжмолекулярних зв'язків реагентів. Швидкість реакції зростає при збільшенні температури. Закон Арреніуса визначає залежність між швидкістю реакції та температурою:

$$W = Ae^{-E/RT}f(C) \quad (1.2)$$

де: A – коефіцієнт, який залежить від частоти зіткнень реагуючих молекул, C - концентрація реагуючих речовин.

Теплотворна здатність (або теплота згоряння) газоподібного палива є його однією з основних властивостей і дорівнює кількості теплоти, що виділяється за повного згоряння одиниці маси (або обсягу) даного палива. Теплотворна здатність вимірюється в енергетичних одиницях на одиницю маси палива, (Дж/кг або МДж/м³) і дозволяє оцінити, наскільки ефективно газоподібне паливо може бути використане отримання теплової енергії.

Через відмінності у хімічній структурі різні газоподібні палива мають різні теплотворні здатності. Наприклад, для метану (CH₄), теплотворна здатність становить близько 55 МДж/м³. Тобто при згорянні 1 кубічного метра газу виділяється близько 55 мегаджоулів теплоти. Для інших газоподібних палив, таких як пропан або бутан, значення теплотворної здатності також відрізнятимуться.

Типи хімічних сполук, які є у паливі, та його відносні концентрації визначає хімічний склад газоподібного палива. Для розрахунків теплотворної здатності, швидкості горіння та інших параметрів, що впливають на процес згоряння необхідно знати точний хімічний склад палива.

Стехіометричне співвідношення між паливом та окислювачем є не менш важливою властивістю газоподібних палив, та визначає оптимальне співвідношення для повного згоряння.

Щоби забезпечити реакцію горіння необхідно дотримуватися умов займання

горючої суміші (Додаток А). При прогріванні всього об'єму суміші виникає самозаймання. Також існує можливість примусового запалення суміші, яке організовують високо нагрітим тілом або іскрою.

Дотримання відповідних концентраційних меж паливної суміші є обов'язковою умовою процесу самозапалення. Надійне запалення суміші залежить від наявності ефективного джерела запалення та умов для розповсюдження полум'я [19].

Процеси молекулярної дифузії паливної суміші безпосередньо впливають на швидкість поширення полум'я. Формула розрахунку нормальної швидкості розповсюдження полум'я:

$$U_n = \sqrt{\frac{2\lambda}{qC_0^2}} \int_{T_0}^{T_k} V(T) dT, \quad (1.3)$$

де: q – тепло, що виділяється в одиниці об'єму, C_0 – молекулярна концентрація суміші, T_0 та T_k початкова та кінцева температури.

Отже, швидкість поширення полум'я визначається температурою і тиском суміші. Але нормальна швидкість поширення полум'я може значною мірою залежати від багатьох факторів: хімічного складу газової суміші, тиску, температури, концентрації та навіть турбулентності навколишнього середовища.

Співвідношення нормальної швидкості розповсюдження полум'я та ширини фронту полум'я λ_n становить об'ємну інтенсивність горіння [20]:

$$\omega_n = U_n / \lambda_n, \text{ с}^{-1} \quad (1.4)$$

Для успішного досягнення основної мети пальникового пристрою, яка полягає в отриманні продуктів згоряння необхідної якості, важливо забезпечити постійний і стабільний процес горіння [21].

Для стабілізації процесу горіння (враховуючи фізико-хімічні властивості природного газу) необхідно забезпечити виконання наступних умов:

1. Необхідну концентрацію пального у повітряному середовищі. Наприклад для метану діапазон самозапалення по об'єму становить $5\% \div 15\%$ та $0,65 \div 1,8$ по коефіцієнту надлишку повітря, а для пропану відповідно: $2,3\% \div 9,5\%$ та $1,7 \div 0,4$.

2. Температура паливної суміші повинна бути в діапазоні $750-800^{\circ}\text{C}$;

3. Важливо, щоби швидкість потоку в зоні стабілізації горіння була нижчою за звичайну швидкість поширення полум'я. Це особливо вірно для природного газу за нормальних умов, де нормальна швидкість становить приблизно $0,4$ м/с.

Стабільне становище факела можливе якщо будуть виконанні наступних спеціальних заходів:

- підведення енергії від зовнішнього джерела;
- термічною рециркуляцією;
- аеродинамічною рециркуляцією.

При застосуванні методу стабілізації фронту полум'я шляхом підведення енергії від зовнішнього джерела необхідно мати додаткове джерело теплової енергії, наприклад альтернативний факел або провідник електронагрівачів.

Термічна стабілізація досягається шляхом передачі тепла від високотемпературної зони горіння до зони стабілізації за допомогою матеріалів з високою теплопровідністю.

У більшості вогнетехнічних об'єктів найбільш поширеним і ефективним методом стабілізації є аеротермічна стабілізація [22]. Це передбачає створення циркуляційних течій в потоці горючої суміші, включаючи зони зворотних струмів. Ці струми захоплюють сильно нагріті продукти згоряння з камери згоряння і постійно запалюють паливо, що знову надходить. Щоб досягти стабільного положення факела в цих умовах, необхідно вжити різних спеціальних заходів. До них відносяться подача енергії із зовнішнього джерела, впровадження теплової рециркуляції та використання аеродинамічної рециркуляції. З цією метою застосовуються стабілізатори які являють собою тіло погано обтічної форми. За

тілом погано обтічної форми у потоці газоповітряної суміші, утворюється зона циркуляції. Розташовані на кордоні із зоною циркуляції, шари газоповітряної суміші підігріваються до температури займання і підпалюються. При цьому спостерігається процес стабілізації полум'я в основному потоці. Від наявності та розмірів зони рециркуляції, а також складу суміші залежить стабілізуюча здатність. Стабілізація більш надійна, коли склад суміші ближче до стехіометричного.

На основі газодинамічних взаємодій течії пального та окислювача може здійснюватися аеротермічна стабілізація. Згідно відповідному огляду літератури можна зробити висновок, що більшість сучасних пальникових пристроїв використовують закрутку потоку окислювача, яка створює розрідження в гирлі пальника під впливом відцентрових сил [23].

Важливу роль в забезпеченні стійкості горіння відіграє процес сумішоутворення. Для того щоби процес змішування був максимально ефективним важливо, щоб швидкості повітряних і паливних потоків були порівнянними. Рішення цього питання напряду залежить від дизайну пальників або форсунок, а також регулювання потоків.

Турбулентне перемішування сприяє створенню турбулентних структур, які призводить до більш рівномірного розподілу палива та повітря в камері згорання. Даний процес спрямований на підвищення ефективності і стабільності процесу горіння [24].

Також для сприяння інтенсивнішому змішуванню палива і повітря використовуються спеціальні сумішоутворювальні пристрої, а саме вихрові камери.

Математичне моделювання часто використовується для оптимізації процесу сумішоутворення [25, 26]. Це сприяє оптимізації дизайн пальників, прогнозуванню розподіл палива і повітря в камері згорання та дозволяє передбачати параметри горіння.

Велике значення для забезпечення стабільного та ефективного горіння, зменшення викидів і підвищення ефективності систем згорання має ефективне

сумішоутворення.

Отримана паливна суміш може бути «збагаченою» або «збідненою»: «збагачення» суміші означає збільшення кількості палива порівняно зі стехіометричним співвідношенням, а «збіднення» - зменшення. Збагачені суміші можуть бути використані для підвищення теплової ефективності, але можуть також призвести до утворення шкідливих викидів.

Варто згадати поняття еквівалентного співвідношення яке являє собою відношення маси палива до маси окиснювача в суміші, поділене на стехіометричне співвідношення мас. Це дає можливість визначити співвідношення палива й окиснювача в суміші. [27, 28].

Крім того, знання горючих концентрацій дозволяє розробляти високоефективні системи згоряння з урахуванням ефективності, енергетичних вимог та екологічної безпеки.

1.4 Теплопередача

Теплопередача в топкових процесах - складна та важлива область, яка потребує врахування різних факторів, таких як тип палива, дизайн камери згоряння, властивості матеріалів, робоче середовище тощо. Ефективне керування теплопередачею допомагає досягти оптимальної ефективності та стабільності процесу горіння.

У процесі горіння камери згоряння відбувається виділення тепла як теплового випромінювання. Це випромінювання передається через простір і може бути поглинене стінками камери згоряння та поверхнями теплообміну.

Теплове випромінювання - це процес поширення теплової енергії у вигляді електромагнітних хвиль, які називаються фотонами. На відміну від теплопередачі за кондукцією (передача через тверді матеріали) та теплопередачі за конвекцією (передача через середовище, що рухається), теплове випромінювання не вимагає

фізичного контакту між джерелом тепла та об'єктом, який отримує тепло.

Основні характеристики теплового випромінювання:

Емісивність поверхні позначає її здатність випромінювати теплову енергію. Емісивність може залежати від матеріалу поверхні, температури та довжини хвилі випромінювання.

Абсорбція і відбиток: Поверхня може як поглинати енергію, що надходить на неї, так і відображати її. Співвідношення між абсорбцією та відображенням визначає колір та теплові характеристики об'єкта.

Температура: Інтенсивність теплового випромінювання поверхні залежить від її температури. Зі зростанням температури інтенсивність випромінювання також зростає.

Закон Стефана-Больцмана: Цей закон встановлює залежність між інтенсивністю теплового випромінювання та температурою поверхні. Відповідно до закону, інтенсивність випромінювання пропорційна четвертому ступеню абсолютної температури поверхні. Він формулюється як:

$$Q = \varepsilon \sigma A T^4, \quad (1.5)$$

, де Q - випромінювана потужність, ε - емісійна здатність поверхні, σ - постійна Стефана-Больцмана, A - площа поверхні, T - температура.

Закон Гвинта: Цей закон пов'язує температуру абсолютно чорного тіла з довжиною хвилі, де його максимальне випромінювання відбувається. Чорне тіло - це ідеальне тіло, яке поглинає всю енергію, що падає на нього, і випромінює максимально можливу кількість теплової енергії. Інтенсивність випромінювання чорного тіла називається випромінювальною здатністю Планка.

Математично він записується як:

$$\lambda_{\max} T = b, \quad (1.6)$$

де λ_{max} – довжина хвилі максимального випромінювання, T – температура, b – постійна Вина.

Закон Кірхгофа: Цей закон встановлює зв'язок між спектральною емісійною здатністю поверхні (здатністю випромінювати енергію на певних довжинах хвиль) та її поглинальною здатністю (здатністю поглинати енергію випромінювання). Закон Кірхгофа стверджує, що відношення емісійної спроможності до поглинальної здатності на даній довжині хвилі є функцією лише температури та довжини хвилі [29, 30].

Теплопередача через стінки: Тепло із камери згоряння передається через стінки системи в інші середовища, такі як вода або пара. Це може бути здійснено конвекцією та провідністю через матеріал стінок.

Опромінення та конвекція: Тепло передається від горючого палива та гарячих газів до поверхонь стінок камери згоряння через теплове випромінювання та конвекцію. Гарячі гази, піднімаючись, утворюють конвективні потоки, які також сприяють теплопередачі.

У деяких випадках гарячі гази з камери згоряння можуть безпосередньо взаємодіяти з робочою речовиною, наприклад парою в парових котлах. Цей теплообмін може здійснюватися через нагріву поверхні (наприклад, труби) і може бути критичним для отримання теплової енергії.

Оптимальний розподіл тепла всередині камери згоряння та на поверхнях теплообміну є важливим аспектом для забезпечення ефективного горіння та запобігання перегріву стінок. Можна сміливо сказати, що ефективність топкового процесу пов'язані з ефективністю теплопередачі. Хороша теплопередача забезпечує максимальне використання тепла, що виділяється, для потреб системи.

У деяких випадках теплопередача також використовується для охолодження деяких компонентів камери згоряння, щоб запобігти їх перегріву [31, 32].

Теплопередача відіграє важливу роль у топкових процесах, так як вона визначає передачу тепла від палива до навколишнього середовища або робочої

речовини (наприклад, воді або пари), що в кінцевому підсумку забезпечує виділення теплової енергії для різних цілей.

1.5 Струменево-нішева технологія спалювання палива

Один із основних способів підвищення теплової ефективності вогнетехнічного обладнання полягає в застосуванні передових технологій для спалювання палива. Зокрема, важливими є технології, що базуються на використанні струменево-нішевих систем. Ці технології і відповідні пальникові пристрої мають багато переваг, таких як широкий діапазон стабільного горіння та низький гідравлічний опір в системі подачі окисню тощо. Для подальшого розвитку цих технологій і їх широкого впровадження необхідно мати глибокі знання про закономірності теплофізичних процесів та взаємозв'язків, що супроводжують їх реалізацію в процесах спалювання.

При аналізі сучасних технологій спалювання стає очевидною потреба у універсалізації пальників, щоб забезпечити їх можливість застосування відповідно до вимог вогнетехнічного обладнання. У даному контексті, технології спалювання, розроблені кафедрою теплової та альтернативної енергетики (ТАЕ) в навчально-науковому інституті атомної та теплової енергетики НТУУ "КПІ ім. Сікорського", представляють собою перспективні засоби використання палива, які мають широкий досвід застосування на багатьох вогнетехнічних об'єктах в Україні. Технології спалювання в НТУУ "КПІ" постійно піддавалися вдосконаленню і проходили експериментальні випробування в лабораторних умовах [33].

Струменево-нішева технологія була розроблена в Київському Політехнічному Інституті і є однією з найпоширеніших та впроваджуваних технологій спалювання на промислових об'єктах України та кількох іноземних країн.

Основні принципи технології наступні:

- ефективне розподілення палива по потоку окисника;

- стабільна та регульована структура течії палива, окисника та продуктів згоряння;
- автоматичне підтримання сталого складу паливної суміші в області стабілізації факелу.

Всі вищезазначені принципи досягаються завдяки вдалим конструктивним рішенням, що стосуються розташування струменево-нішевої системи [34-38] на автономних колекторах-пілонах, які складають пальник (рис. 1.8).



а)



б)

Рис. 1.8 а) ПП СНТ; б) піч КМ-14, факела ПП СНТ-11

Ця конструкція дозволяє об'єднати всі етапи робочого процесу пальникових пристроїв:

- розподіл палива в потоці окисника;
- сумішоутворення з необхідними рівнями концентрацій палива в об'ємі окисника;
- запалення горючої суміші;
- стабілізація факелу;
- створення продуктів згоряння відповідної якості.;
- підготовка палива за допомогою теплової обробки;
- автоматичне охолодження елементів ПП, які піддаються термічному навантаженню.

Технологія спалювання палива з використанням струменево-нішевого методу широко впроваджена на різних типах вогнетехнічних об'єктів [39-44]. Отримано патенти на спосіб і пальникові пристрої, що використовують цей метод [45]. Великий перелік модернізованого обладнання охоплює різні типи вогнетехнічних об'єктів, такі як різноманітні котли, включаючи енергетичні, з потужністю до 200 МВт, мартенівські печі, сушила і багато іншого. Накопичений унікальний досвід ефективної модернізації застарілого обладнання вогнетехнічних об'єктів, таких як житлово-комунальне господарство, промисловість, сільське господарство і інші галузі, дозволяє здійснювати заощадження на паливі та електроенергії для приводу тяглодутьового обладнання.



Рис. 1.9 ПП СНТ на котлі ПТВМ-30

На рисунку 1.9 представлені фотографії процесу модернізації водогрійного котла, завдяки якій були досягнуті такі результати: котел функціонує у діапазоні від 2 до 40 Гкал/год без вимкнення частини пальників (на котлі є шість пальників СНТ). Котел може запалюватися без використання вентилятора та димососу, завдяки самостійній тяги димоходу, і здатен досягати потужності до 13 Гкал [46-53].

Після проведеної модернізації котли ДКВР, які вже експлуатувалися протягом 20-40 років, можуть розпалюватися при низькому тиску (в декілька міліметрів водяного стовпа).

Котли надійно функціонують на частковому навантаженні, з ефективністю, яка перевищує паспортні значення, у всьому діапазоні робочих навантажень. Крім того, ці котли можуть надійно працювати без використання вентиляторів завдяки розрідженню в топці. При цьому концентрація викидів NO_x , приведена до значення $\alpha=1$, зберігається на рівні до 100 мг/нм^3 [54].

Класифікація пальникових пристроїв, розроблених в НТУУ "КПІ", представлена в Додатку Б.

Розглянуті конструкції мають широкий спектр застосування у різних галузях промисловості, таких як складові систем обігріву і сушіння, котлі, печі, апарати для термokatалітичної нейтралізації небезпечних викидів газів, а також у незалежних системах теплопостачання та інших галузях. Варто відзначити впроваджений досвід використання передових технологій спалювання палива в конструкціях від НТУУ "КПІ" у газотурбінних установках, де вони функціонують як складові основних камер згоряння та допалюючих пристроїв на вихлопі ГТУ.

1.6 Газодинамічні схеми надання палива і окиснювача у пальникових пристроях

Дослідження багатьох авторів, у тому числі в КПІ, виявили важливість аеродинамічних процесів, які впливають на основні компоненти робочого процесу пальникового пристрою: аеродинаміку палива та окиснювача, процеси теплопередачі. Ці експерименти дали цінну інформацію, дозволивши класифікувати різні газодинамічні схеми подачі палива та окислювача, як показано на рисунку 1.11 [55].

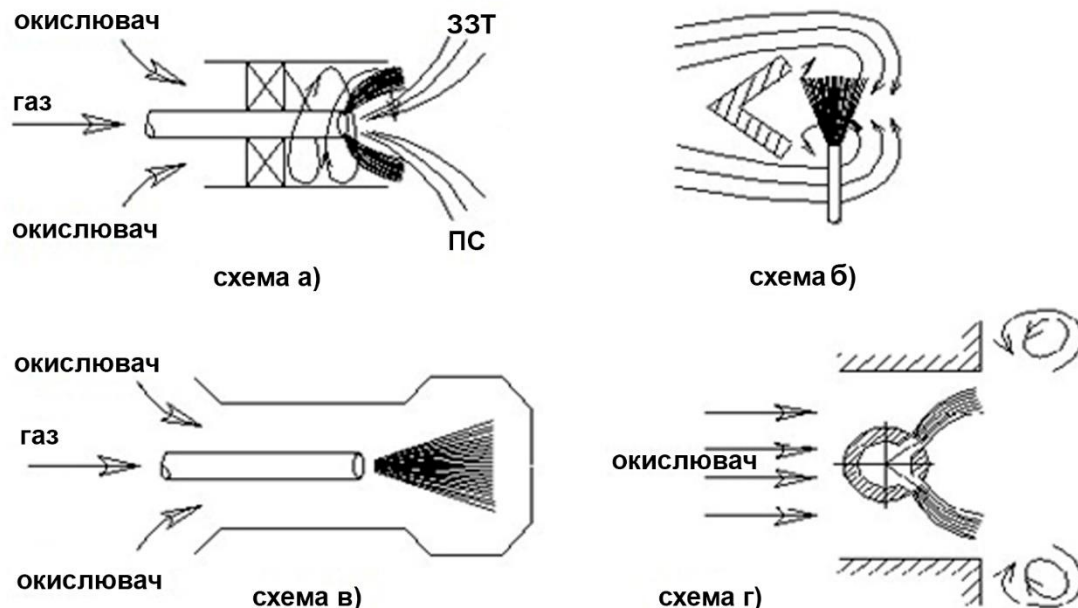


Рис. 1.11 Основні типи газодинамічних схем ПП:

а - закрутка потоку окислювача для утворення зони зворотних токів (ЗЗТ) продуктів згорання; б – зона зворотних токів за поганообтікаючими тілами; в – інжекція потоку окиснювача потоком палива; г – подові газодинамічні схеми

В більшості сучасних ПП вже десятки років реалізується газодинамічна схема закрутки потоку окислювача для утворення зони зворотних токів (рис. 1.11.а) [56, 57]. Ця схема включає в себе процес закручування повітряного потоку з метою посилення сумішоутворення і стабілізації процесу горіння. Однак важливо відзначити, що такі пальники мають кілька істотних недоліків:

- підвищений аеродинамічний опір повітряним трактом;
- широкий діапазон пульсацій тиску за частотою та амплітудою, які провокують вібраційне горіння;
- погіршення стабілізації горіння на малих навантаженнях внаслідок зменшення розрідження в центрі вихору;
- накиди факела на бічні екрани топки;
- Погана якість сумішоутворення внаслідок розшарування паливної

суміші під впливом відцентрових сил (щільність природного газу майже в 2 рази менша, ніж повітря) тощо.

У пальників з поганообтічними тілами (рис. 1.11.б) утворюються більш високі рівні аеродинамічного опору. Крім того, робота з коефіцієнтами надлишку повітря, близькими до одиниці, стає неможливою [58].

На технічні характеристики інжекційних і подових пальників (рис. 1.11.в і рис. 1.11.г) великий вплив має точність дотримання необхідних геометричних розмірів, і вони мають тенденцію до значного погіршення в процесі експлуатації через термічні напруги, які неминуче виникають [59-60].

Загальновизнаним є той факт, що жоден з пальників, що зараз використовуються у світі, не відповідає загальним вимогам економічності, екологічної безпеки та надійності при експлуатації ВО. Як наслідок, пальники з високим показником повноти згоряння палива, що працюють з низькими коефіцієнтами надлишку повітря ($\alpha < 1,1$), мають тенденцію виробляти високі рівні емісії оксидів азоту та схильні до обгорання через підвищену температуру поблизу амбразури. Недоліки цих пальників в основному обумовлені аеродинамічним опором і нестабільністю потоку палива, окислювача і продуктів згоряння, що призводить до пульсацій горіння, нестабільності полум'я, нерівномірного розподілу температури і швидкості в топці. Коли тиск газу менше 1 мм вод. ст., дані ПП можуть забезпечувати теплову потужність вогнетехнічних об'єктів менше 15–20 % від номінальної з постійним ККД. Всупереч поширеній думці, досягти високоефективного спалювання газу дуже складно через його фізичні та хімічні властивості. Ці фактори в поєднанні зі складністю гідротермохімії ускладнили розробку універсальної високоефективної технології спалювання.

Після проведення масштабних експериментальних та аналітичних досліджень сформульовано основні принципи струменево-нішевої технології спалювання палива:

- раціональна роздача пального у потоці окислювача;

- створення стійких вихрових структур, що являють собою результат взаємодії системи струменів пального і зносу потоку окислювача з циркуляційним перебігом за тілом, що погано обтікається, з урахуванням теплотехнічних особливостей вогнетехнічного об'єкта, причому обсяг виникають вихрових структур в сотні разів менше, ніж при застосуванні традиційних ;

- автотермічність складу паливної суміші у зоні зворотних струмів;
- термічна підготовка пального;
- самоохолодження модулів паливом та окислювачем.

Найбільш ефективна роздача палива в потоці окислювача досягається через використання системи струменів газу, які розташовані в одному ряду та направлені перпендикулярно потоку повітря. Було розроблено струменево-нішеву систему (СНС) сумішоутворення та стабілізації полум'я для забезпечення стійкої вихрової структури течії в широкому діапазоні роботи камер згоряння. Основу цієї системи становлять газодинамічні вихроутворювачі, розташовані у потоках окислювача, палива та продуктів горіння. Ці вихроутворювачі сприяють інтенсивному перемішуванню паливної суміші шляхом створення турбулентності в газовому струмені.

На рис. 1.12 показаний варіант розташування СНС на порожнистому колекторі газу. Газ протікає через колектор під нішею, охолоджуючи його (одночасно нагрівається) і виходить через серію струменів, розташованих перпендикулярно потоку окислювача. Високий рівень турбулентності забезпечує належне змішування палива й окислювача, при цьому об'єми розбиваються для ефективного хімічного окислення.

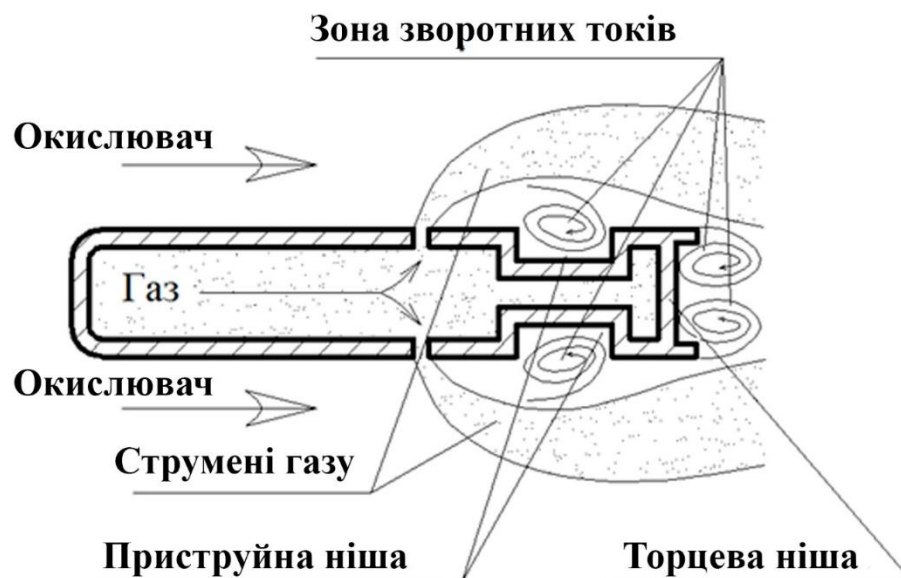


Рис. 1.12 Струменево-нішева система на колекторі газу (пальниковий модуль)

Цей проміжний механізм горіння, розташований між кінетичним і дифузійним процесами, гарантує високу інтенсивність і широкий діапазон стабільності з точки зору швидкості і коефіцієнта надлишку повітря. Одним з важливих аспектів роботи струменево-нішевого пілона є те, що газ охолоджує колектор стабілізатора полум'я, одночасно нагріваючись до температур 200-300 °С. Регулюючи геометричні параметри СНС в трактах палива та окислювача, можна підтримувати постійний склад паливної суміші в широкому діапазоні швидкостей палива та окислювача. Ці переваги струменево-нішевої системи призвели до розробки струменево-нішевих пальникових пристроїв СНТ для різних типів вогнетехнічних об'єктів [61-64].

1.7 Робочий процес пальникових пристроїв

Організація ефективного топкового процесу безпосередньо залежить від наявності всіх стадій робочого процесу ПП. Велика кількість наукових публікацій вказує на високий інтерес та активність удосконалення всіх компонентів робочого процесу в сучасний період. [65- 85].

У пальникових пристроях паливну суміш подають струменями газу, які

розподіляються як в напрямку потоку окиснювача, так і під кутом дев'яносто градусів до нього. Розподіл може включати як певну кількість основних струменів, так і значну кількість дрібних струменів. Кількість дрібних струменів впливає на однаковий розподіл палива, що сприяє покращенню якості формування паливної суміші. Для підвищення інтенсивності масообміну традиційно використовують турбулізацію потоку за допомогою решіток, тіл, що погано обтікаються та завихрювачів. Використання завихрювача потоку окиснювача є найрозповсюдженішим методом для підвищення інтенсивності сумішоутворення. Крім того, завихрювач потоку бере на себе функцію стабілізатора горіння. Це досягається за допомогою розрідження, яке виникає всередині вихрю і притягує гарячі продукти спалювання з топкового простору. Цей факт суттєво погіршує якість утворення суміші через нерівномірний розподіл компонентів за густотою в топковому просторі. Дуже важливим процесом, що впливає на організацію механізму горіння, є попереднє підготовка паливної суміші, яка відбувається до самого процесу утворення суміші. [86].

Робочий процес паливного пристрою ґрунтується на:

- аеродинамічних явищах, які включають в себе аналіз розміру вихрових структур, інтенсивності турбулентності та поля швидкостей для горючого, окиснювача та продуктів згоряння.
- процеси формування паливної суміші, які можна описати через такі параметри, як поле концентрації, область завершення сумішоутворення і хімічну кінетику. Ці характеристики охоплюють концентраційні зони складових, які беруть участь у процесі горіння, а також координати, що вказують на місцезнаходження цих процесів у паливній суміші.

Характеристики робочого процесу ПП, включають:

Повнота горіння:

$$\eta = 1 - \frac{Q_{emp}}{G_z - Q_n^p} \quad (1.7)$$

, де $Q_{втр}$ — втрати тепла у ПП від хімічного недопалу у навколишнє середовище

- Об'ємна теплонапруженість горіння:

$$q_v = \frac{Q_p^H \times G_T}{V_T} \text{ [МВт/м.куб * год]} \quad (1.8)$$

(де Q_p^H - нижча теплота горіння одиниці палива, V_T – об'єм топкового простору),
гідравлічний опір (коефіцієнт гідравлічного супротиву):

$$\varphi_{III} = \frac{\Delta P_T}{\rho \times \frac{W_B^2}{2}} \quad (1.9)$$

- Ступень нерівномірності температур:

$$\delta = \frac{T_T^{\max} - T_T^{\min}}{T_T} \times 100\% \quad (1.10)$$

, де $T_T^{\max}, T_T^{\min}, T_T$ - максимальне, мінімальне і середньомасове значення температури потоку.

Вимоги, які ставляться до робочого процесу ПП, дуже складно виконати, якщо використовуються кінетичний та дифузійний механізми горіння. Для підвищення термодинамічної ефективності циклу необхідно використовувати інтенсивне горіння, яке характеризується кінетичною реакцією горіння суміші. Окрім цього, для забезпечення можливості маневрування обладнанням, необхідно зберігати високу ефективність в широкому діапазоні складу суміші, і це досягається через використання дифузійного горіння [87-90].

У котлах, через велику втрату тепла від випромінення факела до поверхні нагріву, спостерігається більше зниження температури факела, що призводить до його подовження, і це може призвести до часткового перенесення горіння із топки у газоходи. Це призводить до «неповного» горіння, підвищення температури продуктів згорання і, в результаті, до зниження коефіцієнта корисної дії (ККД) котла. Збільшення втрат через таке «неповне» горіння стає особливо важливим, коли частина факела, яка світиться, знаходиться в контакті з холодними поверхнями

нагріву, які можуть вкриватися шаром сажі, і в окремих несприятливих умовах навіть загорітися. Отже, в системах пальників у котлах, коли використовуються дифузійні пальники, створюють умови для того, щоб газ і повітря змішувалися найкоротшим можливим шляхом, коли факел розвивається. Одним з простих способів, які сприяють швидшому змішуванню, є подача газу до пальника у вигляді багатьох малих струменів під кутом до напрямку потоку повітря, а також підсилення подачі повітря до основи факела [23].

1.8 Організація топкового процесу за допомогою імпульсного режиму роботи ПП

Одна з головних функцій будь-якої системи управління горіння - це регулювання підведення тепла відповідно до потреб процесу. У разі імпульсного горіння підведення тепла регулюється модуляцією частоти вмикання в роботу пальника або пальників. Пальники працюють у режимі "великого" горіння протягом контрольованого проміжку часу і потім циклічно перемикаються в режим "малого" горіння або повністю вимикаються. Цей цикл повторюється досить часто і проміжок часу, коли пальник працює в режимі "великого" горіння, потім у режимі "малого" горіння або вимкнений, керується процесорним контролером. Таким чином, імпульсне горіння може бути названо частотно-модульованим горінням. Кожним пальником керують незалежно від інших пальників, що збільшує гнучкість і точність керування.

У традиційних системах спалювання пальники можуть працювати в діапазоні між "великим" і "малим" горінням. Це - пропорційне спалювання, або ж амплітудно-модульоване спалювання. Зазвичай деяка кількість пальників, які жорстко прив'язані один до одного, розпалюються і контролюються як група в цій системі. На перший погляд може здатися, що будь-яка система може забезпечити хороше і гнучке управління. Це здебільшого так, але фактично імпульсне або частотно-

модульоване горіння можна контролювати набагато точніше і воно дає змогу отримати вищий рівень характеристик. Переваги та вигоди від імпульсного спалювання є, і вони дуже суттєві та реальні.

Імпульсне спалювання широко використовується в Європі вже приблизно дванадцять років. Концепція та необхідні технічні засоби були ретельно розроблені, перевірені та випробувані фірмою " Kromshroder" у різних галузях промисловості. Фірма " Kromshroder " була піонером у галузі імпульсного спалювання і розвивала ідею пальників для індивідуального імпульсного спалювання на промисловому ринку. Ідею розробив професор університету, тоді як фірма " Kromshroder" розробляла засоби керування та спеціальні клапани, які є основою успішного імпульсного горіння.

При організації топкового процесу за допомогою імпульсного режиму робота ПП повністю керується комп'ютером. Механічний контроль і регулювання усунуто або мінімізовано. У печах періодичної дії є можливість більшого вибору у використанні різних режимів спалювання від одного процесу до наступного. Більше співвідношення діапазону зміни параметра дає змогу досягти вищу швидкість нагрівання без ослаблення контролю в піковій точці температури. Імпульсна система не може працювати тільки в режимі нагрівання, вона може працювати в режимі нагрівання та охолодження. Температура в печі може бути швидко знижена, якщо це потрібно або необхідно, шляхом використання охолоджувального режиму, в якому газовий електромагнітний клапан закривається, і контролюються тільки пневмоклапани. У топку вводиться тільки повітря. Якщо температурний контролер знову переключений на нагрівання, пальники заново розпалюються і режим нагрівання відновлює роботу. У безперервних або тунельних печах більша кількість зон горіння дає змогу домогтися більшої гнучкості в зміні температуро-часового профілю по довжині печі. Оскільки зонування не має жорстких меж у печі, то можна забезпечити більшу кількість зон і змінювати зонування при цьому набагато легше.

Докорінні зміни потрібні, головним чином, в електропроводці і в контролері, але вони недорогі і не забирають багато часу [91-92].

1.9 Класифікація промислових печей. Низькотемпературні промислові печі малої потужності

Промислові печі різноманітні за своїм призначенням, сферами застосування і видами використовуваної енергії.

Усі промислові печі, як енергетичні установки, можуть бути узагальнені за допомогою загальної структури, в якій передбачені зв'язки між джерелом енергії та призначенням для неї використанням.

У паливній печі ця взаємодія представлена дуже детально. Можливо виділити чотири основні компоненти, що визначають теплову роботу печі:

1) Горіння палива, а саме конвертація хімічної енергії палива в теплову енергію, здійснюється за допомогою продуктів горіння, які можуть бути димовими газами або газами після спалювання в печі;

2) Переміщення газів, які утворюються в процесі горіння в печі, відіграє ключову роль у перенесенні тепла до всіх областей робочого простору, тоді як відпрацьовані гази виходять із печі;

3) Передача тепла від газів, що утворюються в печі, на поверхню нагріваючих матеріалів здійснюється через зовнішній теплопередачу, яка включає випромінювання та конвекцію;

4) Тепловий перенос від поверхні матеріалів, таких як шматки чи масивні вироби, до їхнього внутрішнього шару відбувається завдяки теплопровідності.

У випадку електричних печей деякі компоненти схеми відсутні. Наприклад, в них немає процесу горіння палива та руху газів. Тепло у печі генерується шляхом конвертації хімічної або електричної енергії в теплову.

В залежності від джерела вироблення тепла, печі можна поділити на паливні, автогенні та електричні.

Паливні печі. Паливні печі використовують хімічну енергію твердого, рідкого або газоподібного палива як джерело тепла. Тепло виникає внаслідок окислення цього палива, і в якості теплоносіїв використовуються газоподібні продукти його спалювання, тобто димові гази.

Металургійні печі, які використовують паливо, можна розділити на два основних типи: полум'яні і шарові. Прикладами полум'яних печей є сталеплавильні печі, а також різні печі, які використовуються у виробництві прокатки і ковальсько-пресових операцій, такі як нагрівальні колодязі, методичні, кільцеві, роликові печі та печі з викатним подом.

Автогенні печі. Ці печі використовують теплову енергію, яка виникає внаслідок екзотермічних реакцій окиснення і горіння певних елементів, що містяться у оброблюваних матеріалах.

У мартенівських печах, окрім теплоти, яка виділяється під час спалювання палива, також відбувається випромінювання тепла від окиснення вуглецю та інших елементів, що знаходяться у рідкій ванні. У термінологічному відношенні такі печі розміщуються між паливними та автогенними печами.

Електричні печі. Щодо методу перетворення електричної енергії в тепло, існують три основних класи печей, які застосовуються у металургії: електродугові, індукційні і печі опору.

У дугових печах використовується метод проведення електричного струму через простір, заповнений газом, між двома електродами. Під дією електричного напруги газ між електродами іонізується, набуває електропровідності. У цьому газовому просторі утворюється електрична дуга, яка складається з комбінації яскраво світящихся електронів, позитивних іонів, атомів і молекул.

Електрична дуга - це область, де електрична енергія перетворюється на тепло, і в цей час температура дуги знаходиться у діапазоні від 3000 до 20000 Кельвінів.

В індукційних печах використовується властивість змінного електричного струму створювати змінне магнітне поле навколо провідника. Якщо помістити в таке поле тіло, що нагрівається і яке є провідником, то в ньому виникатимуть індуковані вихрові струми. Енергія вихрових струмів конвертується в тепло, яке виникає всередині прогріваного тіла.

Робота так званих печей опору базується на законі Джоуля-Ленца, який визначає, що при проходженні струму через провідник утворюється тепло, кількість якого пропорційна електричному опору провідника. У даних печах використовується як постійний, так і змінний струм [93].

Залежно від режиму роботи печі можна поділити на два типи: неперервного та циклічного (періодичного) дії.

Печі, які працюють неперервно, включають у себе дугові печі, шахтні шарові печі та печі, що використовуються у виробництві прокату, такі як методичні печі з подом або балками, кільцеві і роликові печі. У таких печах технологічний процес відбувається без перерв, зазвичай матеріали переміщуються від точок завантаження до місць вивантаження готової продукції.

В печах, які функціонують у режимі циклів, процес відбувається послідовно, включаючи етапи завантаження сировини або виробів, їх нагріву, теплової обробки і, в кінцевому підсумку, випуску або вивантаження готової продукції. [94-95].

Діапазон потужності печей може змінюватись від 10 кВт (невеликі нагрівальні печі, печі плавки базальту) до 250 МВт (печі вторинного риформінгу аміаку виробництв азотних добрив)

За рівнем температур печі поділяються на високотемпературні з діапазоном температур від 800 °С до 1800 °С (наприклад: мартени у металургії; 1800 °С), середньотемпературні печі з діапазоном температур від 450 °С до 800 °С (наприклад: стенди сушіння ковшів у металургії; до 600 °С); та низькотемпературні з діапазоном температур від 60 до 450 °С (наприклад: печі сушіння пофарбованих кузовів автомобілів, зерносушки, сушила, пекарські печі харчової галузі промисловості).

До речі, високотемпературні печі можуть мати значну температурну нерівномірність у межах декількох десятків градусів в області топкового простору. У той час як для низькотемпературних печей допустимий рівень температурної нерівномірності значно нижчий.

Огляд досліджень топкових процесів промислових печей показав, що існує значна їх кількість для високотемпературних і середньотемпературних печей. Однак існує недостатність уявлення про топкові процеси в низькотемпературних печах малої потужності.

З проблемами ефективної організації топкових процесів у даних печах зіткнулися світові виробники пекарських ліній для харчової промисловості, основу яких складають низькотемпературні печі малої потужності, які працюють на природному газі.

Вивчивши дану проблему, ми дійшли висновку що організація топкового процесу в даних печах відбувається з використанням двох технологій спалювання, що найчастіше використовуються: в першому випадку технологія спалювання обумовлює роботу печі в імпульсному режимі пальника, в другому має місце мікрофакельна технологія спалювання.

1.10 Конструкції та вимоги до низькотемпературних печей малої потужності в харчовій промисловості

Низькотемпературні печі малої потужності особливо широко використовується для перетворення сировини в приготовані продукти з використанням сухого тепла в хлібобулочній та кондитерській галузях харчової промисловості.

Випікання та запікання – добре відпрацьовані процеси приготування їжі. У давнину люди навчилися одержувати тепло від відкритого полум'я. У міру зростання знань тепло, що виробляється, використовувалося для приготування їжі за

допомогою декількох процесів, таких як випічка з використанням сухого тепла на основі того ж принципу [96].

Підведене тепло може бути у формі променистого тепла, конвективного тепла та кондуктивного тепла. Печі раннього покоління використовували променисте тепло від вогню, яке включало пряме нагрівання. Пізніше непрямий нагрів був запропонований для передачі тепла від вогню по повітроводам, що нагріває поверхню повітроводів і забезпечує променисте тепло продуктам в камері печі. Як прямі, так і непрямі системи нагріву досі використовуються для подачі тепла у сучасних хлібопекарських печах.

Для підвищення рівномірності нагріву в камері печі було запропоновано конвективний вентилятор для рівномірної циркуляції повітряного потоку всередині камери. Піч з примусовою подачею повітря називається конвективною піччю. Щоб скоротити час випікання, швидкість повітряного потоку була збільшена для підвищення коефіцієнта теплопередачі. Цей тип печі був названий імпінджмент-піч. Крім того, були розроблені інші режими нагріву для швидкого розігріву їжі, такі як інфрачервоне нагрівання та мікрохвильове нагрівання. Інфрачервоне та мікрохвильове випромінювання через швидке нагрівання можуть викликати перепади на поверхні та внутрішніх шарах виробів відповідно. Щоб вирішити цю проблему, у хлібопекарській промисловості було введено комбінацію режимів нагріву для отримання високоякісного продукту за короткий час обробки.

Конструкції традиційних та нових печей для випічки, як у періодичному, так і безперервному режимі:

1.10.1 Теплові механізми у хлібопекарських печах

Механізми теплопередачі в хлібопекарських печах включають конвекцію, випромінювання та теплопровідність. Правильне поєднання режимів нагріву може забезпечити хорошу якість випічки (рис.1.14).

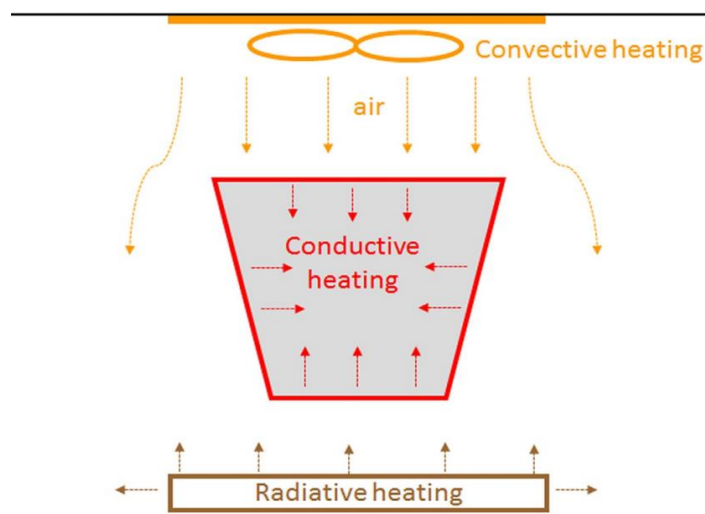
1.10.1.1 Конвективний нагрів

Конвекційна хлібопекарська піч була розроблена для покращення рівномірності розподілу тепла у духовці. Повітря нагрівається та примусово циркулює по всій печі, щоб зменшити різницю між максимальною та мінімальною температурами. Повітря може нагріватися гарячими поверхнями, такими як нагрівальний змієвик, повітропровід або пальник. Рівномірність нагріву в конвекційній печі залежить від швидкості потоку повітря, примусового напрямку, температури повітря, розташування джерела потоку та руху предметів у печі. Конструкції печей, у яких використовується режим конвекційного нагріву, включають ярусну піч, електричну піч та піч з рухомим тачем.

1.10.1.2 Радіаційний нагрів

Промене тепло може генеруватися гарячими поверхнями всередині хлібопекарської печі, такими як повітропроводи, пальники та стінки печі. Різниця температур між джерелом тепла та холоднішим продуктом викликає передачу тепла продукту. Однак кількість енергії, що поглинається, також залежить від коефіцієнта

випромінювання продукту.



Крім того, відстань між джерелом тепла та продуктом має бути зведена до мінімуму, щоб підвищити ефективність печі. Конструкції печей, у яких використовується режим радіаційного нагріву, є ярусну піч, електричну піч, тунельну піч і мікрохвильову піч.

Рис.1.14 Механізми теплообміну під час запікання

1.10.1.3 Кондуктивний нагрів

Провідне тепло передається від стрічок (наприклад, гарячих сітчастих стрічок та сталевих стрічок) до тесту або рідкого тесту. Поверхні стрічки знаходяться у безпосередньому контакті з тестом або рідким тестом як з контейнером, так і без нього. Крім того, кондуктивне тепло передається від поверхні гарячих ємностей (наприклад форми або тарілки) до внутрішнього шару тіста.

При належній кількості тепла тісто перетворюється на тверду речовину.

Тепло, що проводить, стає важливим для правильного розвитку м'якішу. Швидкість нагрівання залежить від теплопровідності ємностей та тіста або тіста, площі контакту та різниці температур між ємностями та тестом.

1.10.2 Пекарні печі безперервної дії

1.10.2.1 Тунельна хлібопекарська піч

Тунельна хлібопекарська піч є класичною конструкцією, що забезпечує високу енергоефективність і прийнятну якість випічки. Він може бути спроектований як для дрібносерійного, так і для великосерійного виробництва. Тунельна піч із невеликим виробничим масштабом спроектована так, щоб мати вузький простір у пекарній камері для економії енергії та рухливу сітку для безперервної передачі продуктів для приготування. Джерелом тепла, швидше за все, є електрика, яка може бути встановлена як зверху, так і знизу камери печі (рис. 1.17). Ця конструкція печі хороша для випікання піци. Температура установки становить приблизно 400°C для випікання піци протягом 2-15 хвилин. Для великомасштабного виробництва краще використовувати тунельну піч, яка використовує як джерело енергії газ або мазут. Оскільки він має безперервну конфігурацію, може полегшити масове виробництво у промислових масштабах. Конструкція печі імітує тунель із тестом або кляром - вхід та вихід з протилежних кінців. Відстань між верхньою стелею та нижньою підлогою духовки досить вузька для економії енергії. Однак

духовка дуже довга і може бути поділена на зони. Кожна зона працює у різних умовах випічки, щоб отримати оптимальний температурний профіль для кожного продукту. Під час переміщення в печі тісто нагрівається гарячим повітрям, променистим теплом та комбінованим гарячим повітрям. Швидкість конвеєра, який транспортує тісто або рідке тісто всередині духовки, регулюється відповідним чином для керування денатурацією білка, клейстеризацією крохмалю, випаровуванням та реакцією підрум'янення, щоб забезпечити належне формування м'якуша та кірки.

Енергія може подаватися в камеру тунельної пекарні печі шляхом прямого або непрямого нагріву. При прямому нагріванні газ (наприклад, природний газ або скраплений нафтовий газ) спалюється для прямої передачі тепла до камери печі. Існують стрічкові газові пальники, розташовані нижче або над стрічками, або те й інше. Променисте тепло від газового полум'я є основним джерелом тепла, що надходить у піч, тоді як променисте тепло від стін та стелі печі є другорядним джерелом тепла.

При непрямому нагріванні газ або інше паливо може використовуватися для спалювання в пальниках для одержання згорілого газу та гарячого повітря, що передаються у випромінюючих трубах, встановлених зверху, знизу або по обидва боки камери печі. Як тільки згорілий газ проходить каналами, поверхні каналів нагріваються і стають джерелом тепла, що подає променисте тепло в пекарню камеру.

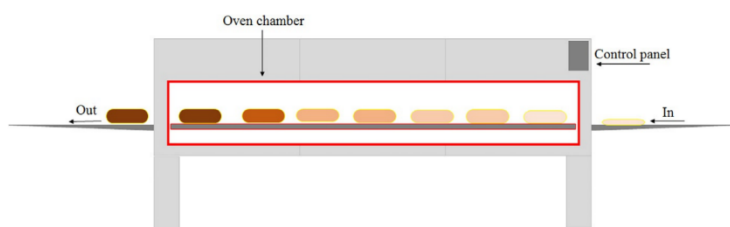


Рис. 1.17 Тунельна піч

Для економії енергії згорілий газ рециркулюється і повертається в пальник, де його можна використовувати повторно і таким чином заощадити трохи енергії.

Для тунельної печі без конвективного вентилятора підведення тепла здійснюється за рахунок променистого тепла від гарячої поверхні повітроводу, який може бути розташований знизу, зверху або і знизу, і зверху одночасно. Після роботи якийсь час всі стінки духовки нагріваються і можуть забезпечувати променисте тепло від стінок для приготування їжі. Накопичення тепла всередині печі під час випікання слід контролювати та регулювати до заданих значень (рис. 1.18).

У тунельній печі, що працює з конвективною системою теплопередачі, газ з пальника, що згорів, проходить каналами для безпосереднього випікання продукту в камері печі. Цей тип печі називається "пряма конвекційна піч". Іншою конструкцією є «непряма конвективна піч», в якій гаряче повітря від пальника виробляє тепло в теплообміннику, який потім проходить через повітропроводи.

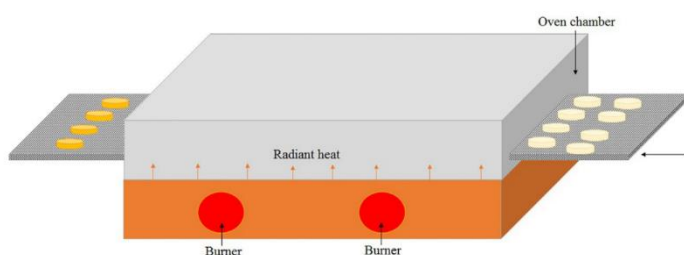


Рис.1.18 Тунельна хлібопекарська піч з радіаційним теплообміном

Повітря в камері печі рециркулює через теплообмінник, а потім повертається до камери печі для випікання тіста. Крім того, можна встановити конвективний вентилятор, який нагнітає повітря у заданому напрямку, забезпечуючи

ефективний розподіл тепла усередині печі. Після того, як гаряче повітря передає тепло продуктам у камері, використане повітря охолоджується та переміщується до системи рециркуляції. Він може бути підігрітий у пальнику перед продуванням повітроводів і безпосередньо нагрівати продукт у камері печі (у печі з прямою конвекцією) або подавати теплову енергію на теплообмінник (у печі з непрямою конвекцією). Ця конструкція може економити енергію аналогічно до тунельної печі, що працює на променистому теплі.

У тунельній печі стрічка використовується для передачі тесту в піч. Щоб забезпечити теплопровідність тіста, стрічка має бути металевою і може бути суцільною або сітчастою. По-перше, стрічка попередньо нагрівається перед тим, як покласти на неї зразок тесту. Потім тепло, що проводить, передається від попередньо нагрітої стрічки до зразка, коли він проходить через тунельну піч. Тунельна піч використовується для випікання печива, хліба та піци.

Для печива робоча температура повинна бути в діапазоні від 300 до 400°C протягом 3-5 хвилин. Для хліба робоча температура залежить від розміру буханця, але, як правило, температура випікання хліба повинна бути в діапазоні від 200°C до 250°C. Піца має широку площу контакту з гарячою пластиною і велике коло, що піддається впливу навколишнього тепла. Таким чином, робоча температура може бути у високому діапазоні (250–300°C) за незначальний час випікання. Ґрунтуючись на описаних вище процесах, перевага тунельної хлібопекарської печі полягає у безперервному виробництві (в порядку черги) без будь-якого забруднення між невипеченими та випеченими продуктами, високої енергоефективності, оптимізації зон та масовому виробництві. Отже, тунельна піч дуже популярна для промислової випічки.

Таким чином, робоча температура може бути у високому діапазоні (250–300°C) за короткого часу випікання. Ґрунтуючись на описаних вище процесах, перевага тунельної хлібопекарської печі полягає у безперервному виробництві без будь-якого забруднення між невипеченими та випеченими продуктами, високої енергоефективності, оптимізації зон та масовому виробництві. Отже, тунельна піч дуже популярна для промислової випічки.

1.10.2.2 Пекарська піч з рухомим листом

Пекарська піч з пересувним піддоном є піч безперервної дії, яка може обслуговувати масове виробництво в промислових масштабах. Всі стіни та стелі

повинні бути добре ізольовані, щоб зберегти тепло всередині камери. Щоб заощадити робочий простір, тісто переміщається лотками, які входять у верхню зону печі, а потім перевертаються в нижню зону де листи виходять після завершення часу випічки. U-подібна конструкція може зменшити довжину печі, але забезпечити різні умови випічки в кожній зоні для отримання бажаних профілів температури випічки (рис. 1.19).

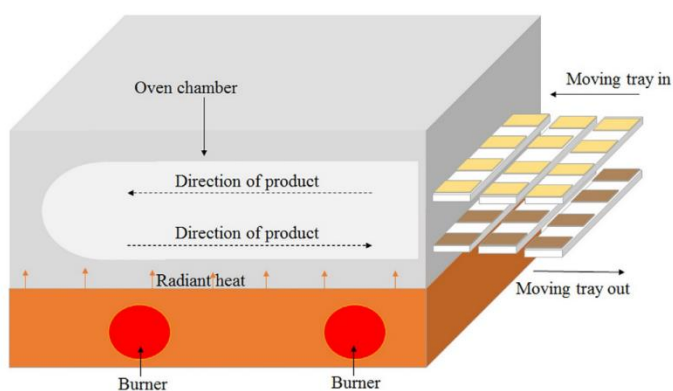


Рис. 1.19 Пересувна піч для випічки

Пряме нагрівання досягається за рахунок використання пальника для вироблення гарячих газів, які потім продуваються через канали в камері печі для прямої передачі тепла зразкам. Джерелом енергії має бути газ, а не дизельне паливо.

У пекарні печі з рухомим піддоном

часто може використовуватися непрямий нагрівання для подачі енергії в камеру печі, при цьому пальники виробляють гаряче повітря і згорілий газ, які згодом використовуються для постачання повітроводів (випромінюючих труб) в камері печі. Гаряче повітря передає тепло поверхням повітроводів, а потім ці гарячі поверхні виділяють променисте тепло в камеру печі. Природна конвекція походить від гарячого повітря, що циркулює в повітроводах, і переважно впливає на температуру в придонній зоні. З вентиляторами, встановленими в духовці, створюється примусова конвекція, яка впливає на температуру у напрямку сили. Оскільки пальник часто встановлюється під камерою печі, нижня зона може бути гарячою. Таким чином, вентилятори часто встановлюються в нижню зону для управління потоком гарячого повітря у верхню зону та забезпечення рівномірної циркуляції повітря всередині печі.

У пекарній печі з рухомим деком є кілька зон: верхня передня, верхня задня, нижня передня та нижня задня. Однак, оскільки кожна зона пов'язана з іншими, регулювання умов нагріву в одній зоні може заважати іншим зонам.

Пересувна хлібопекарська піч зручна для промислової випічки хліба, бісквітів, тортів, піци. Для випікання хліба робоча температура повинна бути в діапазоні від 200°C до 240°C. Температуру в першій зоні встановлюють трохи нижче, ніж у решті, щоб дати тесту збільшитися в об'ємі при початковій випічці з поступовим випаром з утворенням скоринки.

Потім температуру в другій та третій зонах поступово підвищують, щоб збільшити швидкість нагрівання всередині тесту. При U-подібній конструкції печі з рухомим піддоном підвищена температура третьої зони, яка знаходиться під другою зоною, може впливати на другу зону за рахунок підвищення температури. Температура кінцевої зони аналогічна температурі в третій зоні, щоб забезпечити належний колір скоринки та розвиток смаку. До переваг пекарної печі з рухомим підносом відносяться безперервне виробництво (першим прийшов - першим пішов), економія місця, зональна робота та гнучкість для багатьох продуктів. У пальнику можна використовувати більш дешеві джерела енергії, такі як газ, для достатньої кількості гарячого повітря для подачі в повітропроводи в духовці.

1.10.3 Нові печі для випікання

Щоб покращити якість та ефективність випічки, були розроблені інші типи печей з використанням нових технологій, таких як інфрачервоне випромінювання, мікрохвильова піч, повітряне зіткнення та комбіновані методи.

1.10.3.1 Інфрачервона піч

Інфрачервоне випромінювання, яке є методом швидкого нагрівання, може застосовуватися в камері печі для випічки, щоб збільшити швидкість нагрівання

променистим теплом. Замість променистого тепла, що передається від гарячих поверхонь, воно генерується галогенною лампою, що випромінює ближнє інфрачервоне світло. Довжини хвиль ближнього інфрачервоного діапазону мають невелику глибину проникнення порівняно з мікрохвилями, хоча обидва є електромагнітними хвилями. На варильній поверхні виділяється і акумулюється тепло, внаслідок чого виходить суха і хрумка скоринка (рис. 1.20). Харчовий продукт для інфрачервоної випічки повинен бути тонким та плоским з широкою поверхнею, такою як піца.

Пекти з далеким інфрачервоним випромінюванням можна використовувати для подачі променистого тепла для обсмажування. Цей тип печі складається із джерела тепла, зазвичай розташованого зверху, для опромінення їжі в камері. Відстань між джерелом тепла та продуктом не повинна перевищувати 8 мм, а час обсмажування не повинен перевищувати 10 хвилин. Коротший час обсмажування результатом вищої швидкості нагріву порівняно з конвекційною піччю. Хоча діапазон температур ($23,0\text{--}159,5^{\circ}\text{C}$) набагато нижчий, ніж при обсмажуванні на перегрітій парі ($22,2\text{--}232,2^{\circ}\text{C}$), розвиток кольору продуктів, приготованих у печі далекого інфрачервоного діапазону набагато швидше.

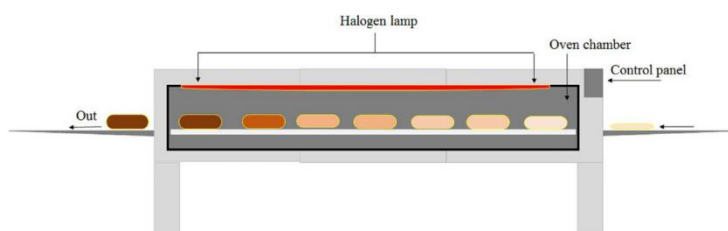


Рис. 1.20 Безперервна інфрачервона піч

Фаза карбонізації при випалюванні в дальній інфрачервоній печі починається через 8 хвилин, а не через 12 хвилин при випаленні в перегрітій парі. Нестача кисню під час обсмажування не є фактором обсмажування у дальній інфрачервоній печі; таким чином, кінетична константа швидкості L^* набагато вища, ніж при

випалюванні конвекційного типу з використанням перегрітої пари в якості теплоносія [97].

1.10.3.2 Мікрохвильова піч

Мікрохвильова піч для випікання може бути гарним варіантом для збільшення швидкості нагрівання продуктів великого розміру. У духовці магнетрон використовується для генерації мікрохвиль, які можуть проникати глибоко в їжу, яка повинна мати високу вологість, тому її високі діелектричні властивості призводять до високого поглинання енергії та її подальшого ефективного перетворення в тепло (рис. 1.21). Внутрішній шар їжі має тенденцію швидко нагріватися і повністю пропікатися, тоді як зовнішній шар нагрівається пізніше і тому не утворює суттєвої сухої кірки. Таким чином, для отримання належного утворення кірки мікрохвилі повинні застосовуватись разом з конвективним теплом або випромінюваним теплом для зменшення конденсації води на поверхні та підвищення температури поверхні для виникнення неферментативної реакції потемніння.

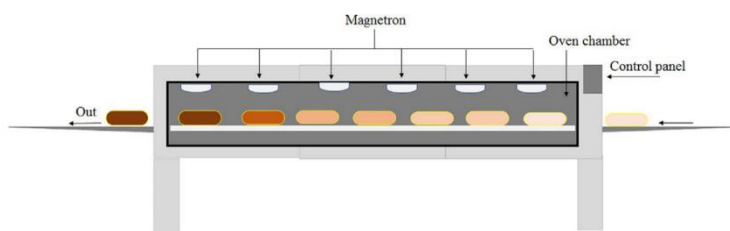


Рис. 1.21 Мікрохвильова піч

Крім скорочення часу випічки, мікрохвильова випічка дозволяє отримувати хлібобулочні вироби з підвищеним вмістом крохмалю, що повільно перетравлюється. Наприклад, для безглютенового хліба, приготовленого з рисового борошна, випікання в мікрохвильовій печі може вплинути на взаємодію крохмалю з

білком і, таким чином, знизити глікемічний індекс (ГІ) приблизно з 90 (звичайна випічка на гарячому повітрі) до менше 70. При ГІ нижче 75, випечений у мікрохвильовій печі хліб можна віднести до категорії продуктів із середнім ГІ [98]. Тим не менш, ретроградація, мабуть, посилюється при мікрохвильовій випічці, оскільки кристалічність крохмалю в безглютеновому хлібі значно змінилася під час зберігання протягом 3 днів при 4°C [99], і це може бути недоліком мікрохвильової випічки, який може стосуватися деяких користувачів.

1.10.3.3 Ударна піч

Ударна піч призначена збільшення швидкості нагрівання в конвективній печі за рахунок збільшення швидкості повітря, оскільки висока швидкість повітря може збільшити коефіцієнт теплопередачі і, отже, швидкість нагрівання печі. Коефіцієнт теплопередачі в печі з імпульсним потоком становить приблизно від 150 до 250 Вт/м² К, що набагато вище, ніж у звичайної печі з гарячим повітрям (приблизно 100 Вт/м² К) [100]. Таким чином, швидке приготування є основною перевагою даної конструкції.

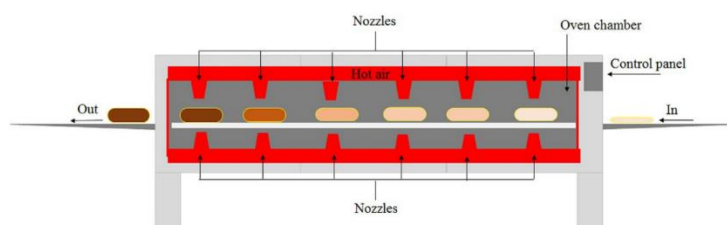


Рис. 1.22 Піч з повітряним впливом

Можливим недоліком є велика втрата ваги через високу швидкість повітряного потоку, що сприяє швидкому перенесення вологи з варильної поверхні камери печі. Загалом швидкість повітря регулюється в діапазоні від 10 до 15 м/с. Однак повітря не циркулює по всій печі, як це зазвичай буває у конвекційній печі. Натомість повітря фактично змушене проходити через сопла, щоб збільшити його

тиск i , отже, його швидкість. Повітря, що нагнітається, може надходити безпосередньо на варильну поверхню, яка потім може поступово нагрівати внутрішній шар (рис. 1.22). Моделювання моделі показало, що зіткнення може знизити необхідну енергію на 12-16%, порівняно з випалом гарячим повітрям [101].

Ударна піч призначена для роботи у періодичному або безперервному режимі.

1.10.3.4 Комбінована піч

Гібридна хлібопекарська піч призначена для підвищення продуктивності випічки та економії енергії. Наприклад, приготування крекерів та бісквітів із самого початку вимагає високого рівня нагрівання. Таким чином, гібридна хлібопекарська піч призначена для забезпечення прямого променистого тепла в початковій зоні, у той час як у пізнішій зоні використовується непряме променисте тепло. Пряме променисте тепло застосовується протягом однієї третини часу приготування і споживає 50% загальної енергії для всього процесу випічки, тоді як дві третини часу випічки, що залишилися, використовують інші 50% загальної енергії для забезпечення непрямого променистого тепла. Для невеликих плоских продуктів з невеликою кількістю цукру потрібно менше нагрівання, щоб запобігти пригоранню. Таким чином, гібридна хлібопекарська піч підходить для цих напівсолодких продуктів з променистим теплом у початковій зоні протягом однієї третини часу випічки та конвективним теплом протягом періоду, що залишився [102].

Мікрохвилі часто використовуються разом із конвективним нагріванням для покращення якості випічки, оскільки мікрохвилі можуть швидко генерувати тепло та економити час випічки. Це уможливорює свіжу випічку та доставку їжі. Конвективний обігрів забезпечує передачу сухого тепла від зовнішнього шару до внутрішнього шару. За допомогою конвективного нагріву в мікрохвильовій печі стає можливим правильне утворення скоринки. Так само інфрачервоне випромінювання іноді застосовується разом з випічкою в мікрохвильовій печі для утворення сухої

хрусткої коричневої скоринки на хлібобулочному виробі. Оскільки інфрачервоне випромінювання класифікується як метод швидкого нагріву, воно не тільки забезпечує відповідну скоринку після випікання в мікрохвильовій печі, але й заощаджує час випікання. Обдув повітрям - ще один метод нагрівання, що дозволяє швидко отримати рум'яну скоринку при випіканні в мікрохвильовій печі. Таким чином, мікрохвильова випічка з гарячим повітрям, інфрачервона мікрохвильова піч та мікрохвильова піч з ударним впливом є гібридними методами [103], що вимагають коротшого часу випікання (рис. 1.23).

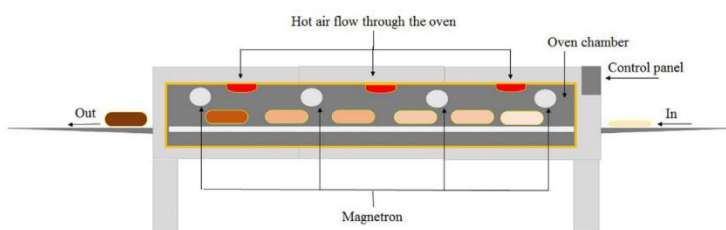


Рис. 1.23 Гібридна хлібопекарська піч

1.11 Висновки до Розділу 1

Проведений аналітичний огляд наукових досліджень в області теорії горіння, дозволив зробити наступні висновки:

1. Науково-дослідні центри з вивчення процесів горіння практично у всіх країнах світу продовжують дослідження та розробку нових технологій спалювання газоподібних палив, реалізованих у пальникових пристроях.
2. Описано існуючі механізми спалювання газоподібних палив
3. З'ясовано, що підведення енергії від зовнішнього джерела, термічна рециркуляція, аеродинамічна рециркуляція і також процес сумішоутворення є необхідними заходами для стабілізації полум'я.
4. Проаналізовано принципи роботи струменево-нішевої технології, яка дає

змогу модернізувати низькотемпературні печі малої потужності;

5. Розглянуті сучасні газодинамічні схеми надання палива і окиснювача у пальникових пристроях і складові робочого процесу пальникових пристроїв;

6. Описано організацію топкового процесу за допомогою імпульсного режиму роботи ПП;

7. Проведено класифікацію промислових печей. Зроблено огляд конструкцій низькотемпературних печей малої потужності в харчовій промисловості та вимоги до них.

8. Описано механізми теплопередачі в хлібопекарських печах, які включають конвекцію, випромінювання та теплопровідність.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

А. Проведення експериментальних досліджень проводились на наступних стендах:

1. Промислова піч із випікання кексів на фабриці Хаас-Майнке в Копенгагені (Данія);
2. Піч випалення вапна КМ-14 на ММК ім. Ілліча у Маріуполі;
3. Промислова піч із випікання вафельного листу на фабриці Доминик в Полтаві;
4. Експериментальний стенд лабораторії НПО СНТ для дослідження роботи плоских пілонів;
5. Експериментальний стенд лабораторії НПО СНТ для дослідження роботи циліндричних пілонів;
6. Експериментальний стенд лабораторії КПІ для дослідження впливу управління формою факелу профілюванням амбразури ПП з циліндричним пілоном.

В. Проведення математичного моделювання експериментального стенду для досліджень роботи циліндричних пілонів та аеродинамічні дослідження робочих процесів циліндричного пальника. Дане математичне моделювання було побудоване в програмі SolidWorks. Всі експерименти були проведені в ізотермічних умовах для перевірки аеродинаміки течій досліджуваної моделі пальникового пристрою. Метою експериментів було визначення впливу відносного кроку отворів на циліндричній поверхні пальника на розподіл палива на виході з ПП.

С. Проведення експериментальних досліджень в промислових умовах.

Методики, що використовувались у наших дослідженнях, багато років розроблялися, апробувалися та вдосконалювалися у лабораторії горіння теплоенергетичного факультету Київського політехнічного інституту.

2.1 Опис експериментальних стендів та промислового обладнання.

Методики проведення досліджень

2.1.1 Конструкція експериментального, промислового обладнання фабрики ХААС-МАЙНКЕ для вивчення характеристик робочого процесу ПП вихрового типу, що працює в імпульсному режимі

Опис стенду. У якості експериментального стенду австрійська компанія «HAAS FOOD EQUIPMENT GmbH» надала дослідно-промисловий зразок печі з випікання кексів (Рис. 2.1) із найсучаснішою системою автоматизації на дослідному центрі данської фабрики HAAS MEINCKE в Копенгагені (ДАНІЯ) з необхідною приладовою базою та штатом інженерів.



Рис. 2.1 Блок попереднього нагрівання пекарської печі з випікання кексів на дослідному центрі данської фабрики HAAS MEINCKE

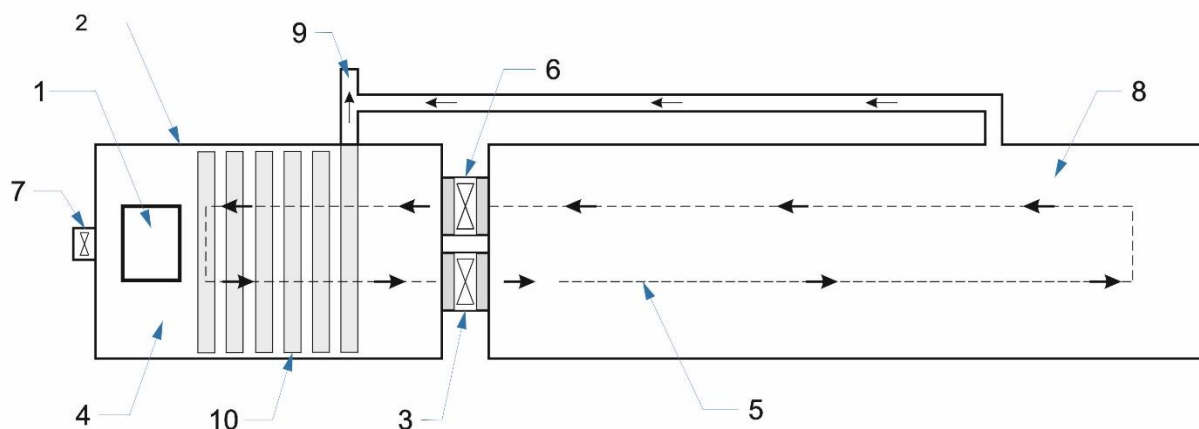


Рис. 2.2 Схема експериментального стенду

Схема експериментального стенду (рис. 2.2) включає наступні вузли та елементи:

1. Пальниковий пристрій;
2. Теплообмінник, призначений для нагрівання повітря, що йде в робочу зону печі;
3. Основний вентилятор, що подає повітря у робочу зону печі;
4. Камера згоряння;
5. Контур циркуляції пічного повітря;
6. Впуск пічного повітря;
7. Вхід холодного повітря;
8. Робоча камера печі;
9. Точка для вимірювання складу продуктів згоряння.

Блок попереднього нагріву також включає розташований в ньому датчик температури та прилад вимірювання витрати газу пальниковим пристроєм.

2.1.2 Методика проведення натурального експерименту

Для досягнення цілей дослідження було розроблено методологію вирішення поставлених завдань, яка передбачає:

- оцінку діапазону регулювання штатного ПП у фіксованому часовому інтервалі на різних технологічних режимах роботи печі;

- оцінку витрат та втрат паливного газу під час циклів роботи ПП у тому ж часовому діапазоні на різних технологічних режимах роботи печі;
- визначення складу газів, що йдуть у циклах роботи ПП у тому ж часовому діапазоні з оцінкою тимчасових інтервалів наднормативних викидів на різних технологічних режимах роботи печі.

Для реалізації цієї методології були розроблені методики проведення перерахованих вище досліджень.

Треба додати що методики, що використовувались у наших дослідженнях, багато років розроблялися, апробувалися та вдосконалювалися у лабораторії горіння теплоенергетичного факультету Київського політехнічного інституту.

Для досягнення поставлених цілей було виконано наступне:

1. Проводилася зорова фіксація зривів і підпалів факела ПП у фіксованому часовому інтервалі;
2. Паралельно цьому проводилися заміри витрат газу на перерахованих вище режимах;
3. Фіксували температуру газу і повітря;
4. На перерахованих вище режимах проводилися виміри складу продуктів згоряння;
5. Для оцінки ефективності роботи печі і складання її теплового балансу було виміряне ряд узгоджених параметрів:
 - Витрата газу на конкретному режимі;
 - Температура продуктів згоряння на виході з печі;
 - Температура холодного повітря на вході в піч;
 - Температура повітря на вході рециркуляційного вентилятора;
 - Температура повітря на вході модуля нагріву;
 - Аналіз відпрацьованих газів: надлишку повітря, CO, CH₄, NO_x і температури відхідних газів до скидання в цю ж трубу відпрацьованого повітря з печі.

2.1.3 Методика обробки експериментальних даних

На підставі знятих даних були побудовані циклограми роботи печі, на яких відображалися: витрати газу, коефіцієнт надлишку повітря, викиди CO і NO_x . На основі побудованих циклограм було визначено втрати природного газу в процесі роботи, а також величину наднормативних викидів у кожному циклі окремо, а після цього в усьому фіксованому часовому інтервалі роботи печі.

2.1.4 Конструкція експериментальної машини КМ-14 аглофабрикі заводу ММК «імені Ілліча»

В якості стенду для промислових випробувань ПП (сконструйованого на основі базового модуля СНТ, який отримав назву СНТ-11), була використана топка машини випалення вапна КМ-14 (рис. 2.3) аглофабрикі заводу ММК «імені Ілліча» (найбільша аглофабрика в Європі), на якій НВО СНТ проводило модернізацію.

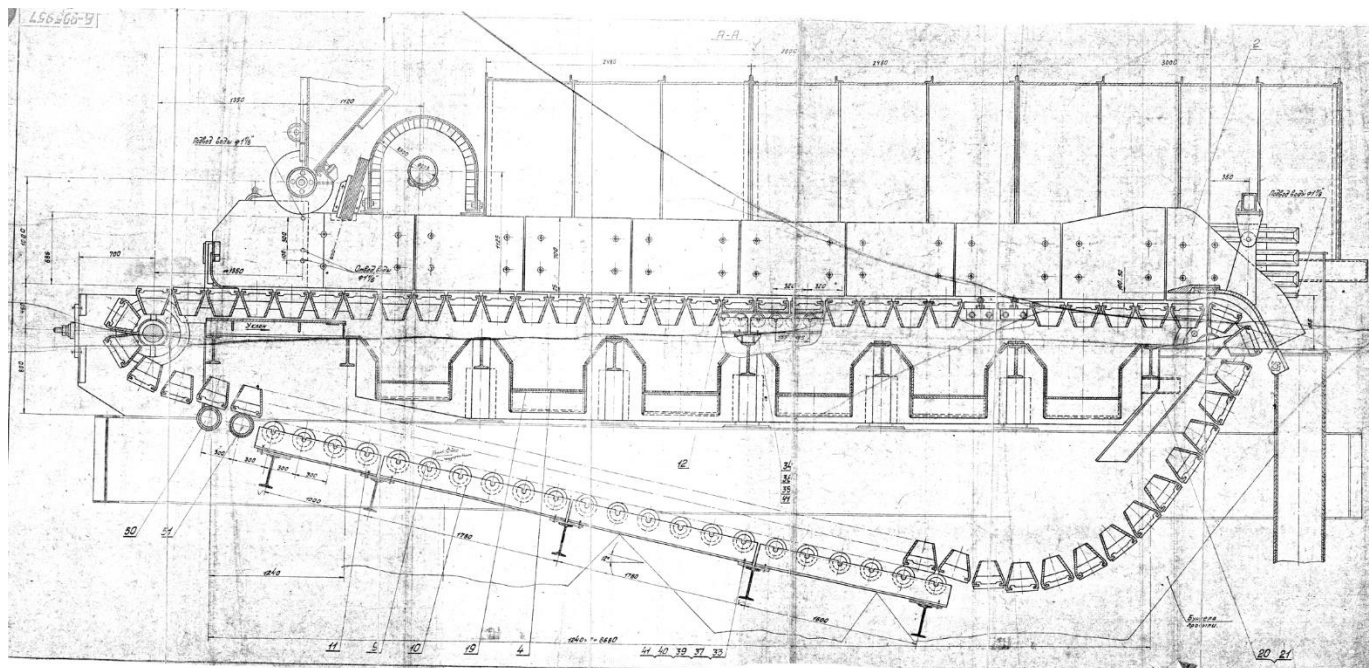


Рис. 2.3 Машина випалення вапна КМ-14

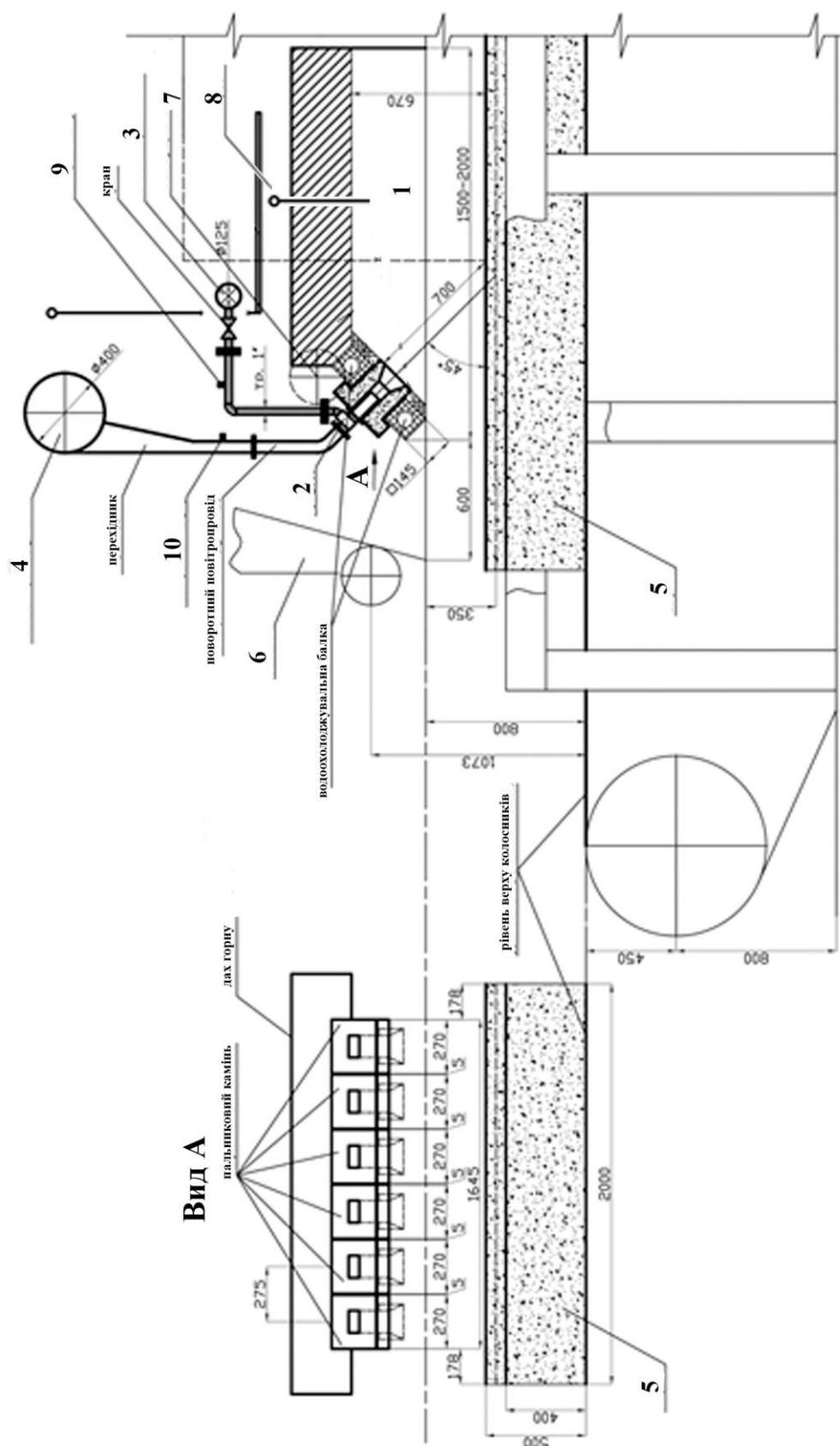


Рис. 2.4 Схема машини випалення вапна КМ-14

Модернізація полягала в заміні наявної топки зі штатним інжекційним пальником, що працював на природному газі, на шість пальникових пристроїв СНТ-11, які реалізують основні принципи струменево-нішевої технології спалювання палива. Схема машини випалення вапна КМ-14 представлена на рисунку 2.4.

Машина випалення вапна КМ-14 складається з:

1. Топка;
2. Пальниковий пристрій СНТ-11;
3. Підведення газу;
4. Підведення повітря;
5. Рухома стрічка;
6. Завантажувально-розподільний механізм;
7. Ексгаустер.
8. Вікно для виміру температури пірометра;
9. Датчик тиску газу перед пальником (Перетворювач тиску APC-2000ALW/ - 1,5 ... 13 kPa/0 ... 11 kPa/M/VM - 1/кріплення AL);
10. Датчик тиску повітря перед пальником (Перетворювач тиску APC-2000ALW/ - 1,5 ... 7 kPa/0 ... 2,5 kPa/M/VM - 1/кріплення AL);

Машину КМ-14 було обладнано датчиками для вимірювання тиску газу і повітря перед пальником, діафрагмами для вимірювання витрати повітря і газу з вторинними вимірювальними приладами:

- датчик тиску газу перед пальником (Перетворювач тиску APC-2000ALW/ 0 ... 13 kPa/0 ... 70 kPa/M/VM - 1/кріплення AL);
- датчик тиску повітря перед пальником (Перетворювач тиску APC-2000ALW/ 0 ... 2,5 kPa/0 ... 4 kPa/M/VM - 1/кріплення AL)

2.1.5 Методика проведення натурного експерименту

Під час експерименту здійснювалися виміри:

- витрат газу та повітря перед пальником;

- тисків газу та повітря перед пальником;
- температури шихти, стінок та склепінь топки;
- замір розрідження в екстаустері.

Для досягнення цілей дослідження було розроблено методологію вирішення поставлених завдань, яка передбачає:

- оцінку діапазону регулювання штатного ПП у фіксованому часовому інтервалі на різних технологічних режимах роботи печі;
- оцінку витрат та втрат паливного газу під час циклів роботи ПП у тому ж часовому діапазоні на різних технологічних режимах роботи печі;
- визначення складу газів у циклах роботи ПП в тому ж часовому діапазоні з оцінкою часових інтервалів наднормативних викидів на різних технологічних режимах роботи печі.

Для реалізації цієї методології були розроблені методики проведення перерахованих вище досліджень.

Для досягнення поставлених цілей було виконано наступне:

1. Проводилася зорова фіксація зривів і підпалів факела ПП у фіксованому часовому інтервалі;
2. Паралельно цьому проводилися заміри витрат газу на перерахованих вище режимах;
3. Фіксували температуру газу і повітря;
4. На перерахованих вище режимах проводилися виміри складу продуктів згоряння;
5. Для оцінки ефективності роботи печі і складання її теплового балансу було виміряне ряд узгоджених параметрів:
 - Витрата газу на конкретному режимі;
 - Температура продуктів згоряння на виході з печі;
 - Температура холодного повітря на вході в піч;
 - Температура повітря на вході рециркуляційного вентилятора;

- Температура повітря на вході модуля нагріву;
- Аналіз відпрацьованих газів: надлишку повітря, CO, CH₄, NO_x і температури відхідних газів до скидання в цю ж трубу відпрацьованого повітря з печі.

2.1.6 Методика обробки експериментальних даних

На підставі знятих даних були отримані мнемосхеми роботи машини випалення вапна КМ-14, на яких відображалися: витрати газу, коефіцієнт надлишку повітря, викиди CO і NO_x. На основі отриманих мнемосхем було визначено втрати природного газу в процесі роботи, а також величину наднормативних викидів в усьому фіксованому часовому інтервалі роботи печі.

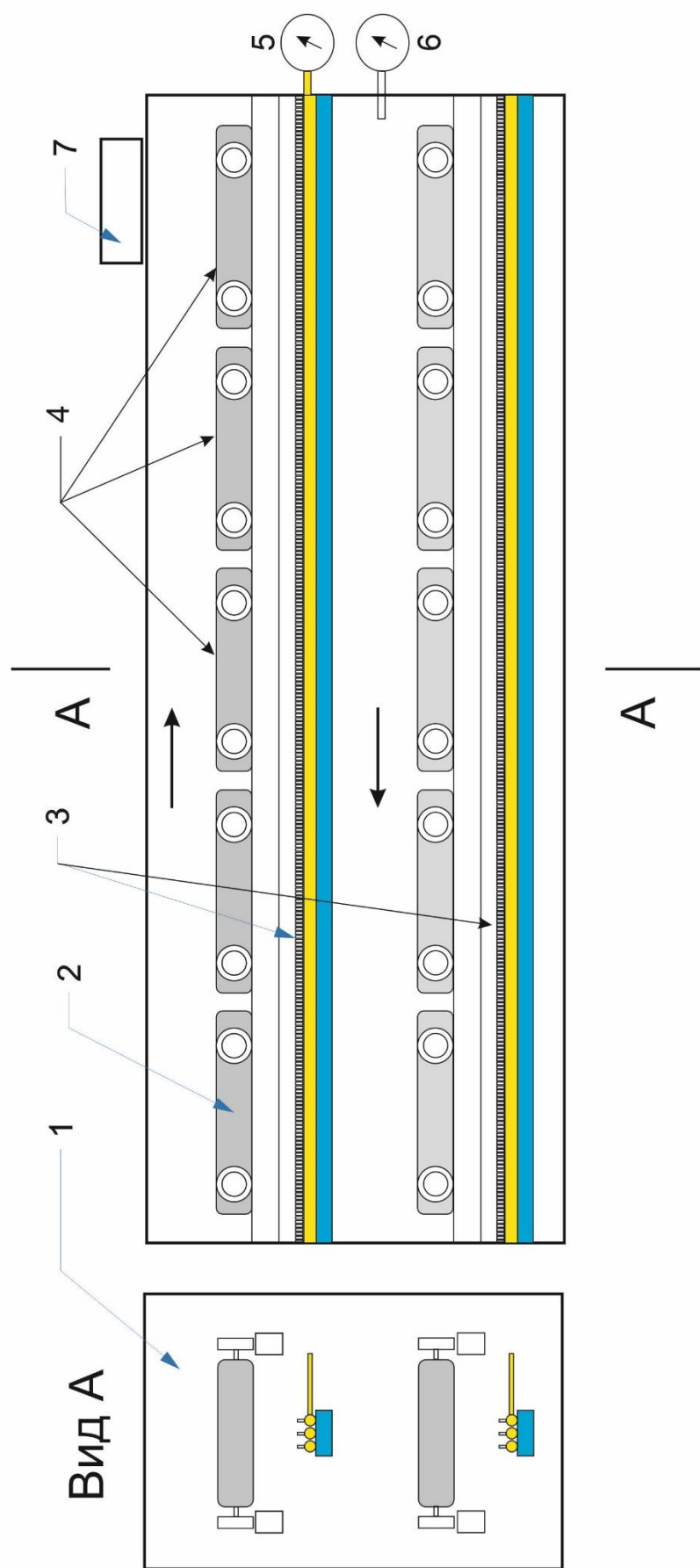
Під час експерименту здійснювалися виміри витрат газу та повітря перед пальником, тисків газу та повітря перед пальником, температура шихти та стінок та склепінь топки та замір розрідження в ексгаустері.

2.1.7 Конструкція печі для випічки вафельного листу фабрики Доминик (м. Полтава)

Як стенд для дослідження організації топкового процесу у вафельній печі, було обрано піч GOCMEN (виробництва Туреччини). Кореляція результатів дослідження проводилася на вафельній печі фабрики ХААС (Рис. 2.5) (Leobendorf, Австрія).

Рис. 2.5
піч GOCMEN





Мал. 2.6 Схема експериментальної печі GOSMEN для випікання вафельного листа.

1. Топкова камера печі; 2. Вафельниці; 3. Блок газових форсунок; 4. Візки; 5. Пристрій для вимірювання витрати газу; 6. Датчик температури печі; 7. Місце виміру складу вихідних газів.

2.1.8 Методика проведення натурального експерименту

Під час експерименту здійснювалися виміри:

- витрати газу;
- тисків газу;
- Швидкість руху вафельниць;
- Температуру повітря в топковому просторі;
- Температуру на поверхні вафельниць.

Для досягнення цілей дослідження було розроблено методологію вирішення поставлених завдань, яка передбачає:

- оцінку діапазону регулювання штатних ПП у фіксованому часовому інтервалі на різних технологічних режимах роботи печі;
- оцінку витрат та втрат паливного газу під час циклів роботи ПП у тому ж часовому діапазоні на різних технологічних режимах роботи печі;
- визначення складу газів у циклах роботи ПП у тому ж часовому діапазоні на різних технологічних режимах роботи печі.

Для реалізації цієї методології були розроблені методики проведення перерахованих вище досліджень.

Для досягнення поставлених цілей було виконано наступне:

- Проводилася зорова фіксація зривів і підпалів факелів ПП у фіксованому часовому інтервалі;
- Проводилася зорова фіксація росту довжини факелів ПП та їх накидів на поверхні вафельниць та підшипники-шасі візків вафельниць.
- Проводився замір швидкості руху вафельниць;
- Проводився замір температури на поверхні вафельниць на різних технологічних режимах роботи печі;
- Паралельно цьому проводилися заміри витрат газу на різних технологічних режимах роботи печі;

- Фіксували температуру газу і повітря у топковому просторі на різних технологічних режимах роботи печі;
- На різних технологічних режимах роботи печі проводилися аналіз та виміри складу продуктів згоряння: надлишку повітря, CO, CH₄, NO_x і температури відхідних газів;

2.1.9 Методика обробки експериментальних даних

На підставі знятих даних були побудовані циклограми роботи печі, на яких відображалися: витрати газу, коефіцієнт надлишку повітря, викиди CO і NO_x. На основі побудованих циклограм було визначено втрати природного газу в процесі роботи, а також величину наднормативних викидів у кожному циклі окремо, а після цього в усьому фіксованому часовому інтервалі роботи печі.

2.1.10 Конструкції лабораторних експериментальних стендів

2.1.10.1 Експериментальний стенд лабораторії НВО СНТ для дослідження роботи плоских пілонів

На рисунку 2.7 представлено схему експериментального стенду лабораторії НВО СНТ для дослідження роботи плоских пілонів.

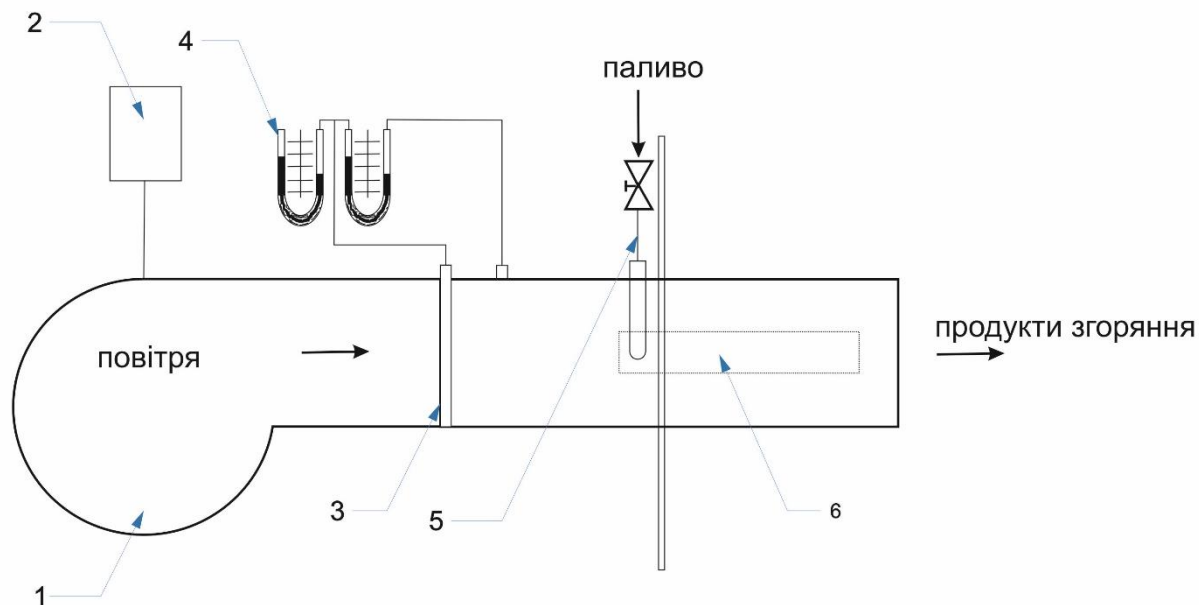


Рис. 2.7 - Схема експериментального стенду лабораторії НВО СНТ для дослідження роботи плоских пілонів: 1 – вентилятор; 2 – пристрій частотного регулювання обертів вентилятора; 3 – інтегральна трубка Піто; 4 – блок манометрів; 5 – подача палива; 6 –струменево-нішевий модуль.

2.1.10.2 Експериментальний стенд лабораторії НВО СНТ для дослідження роботи циліндричних пілонів

Схему стенду для дослідження роботи циліндричного струменево-нішевого пальникового пристрою представлено на рисунку 2.8.

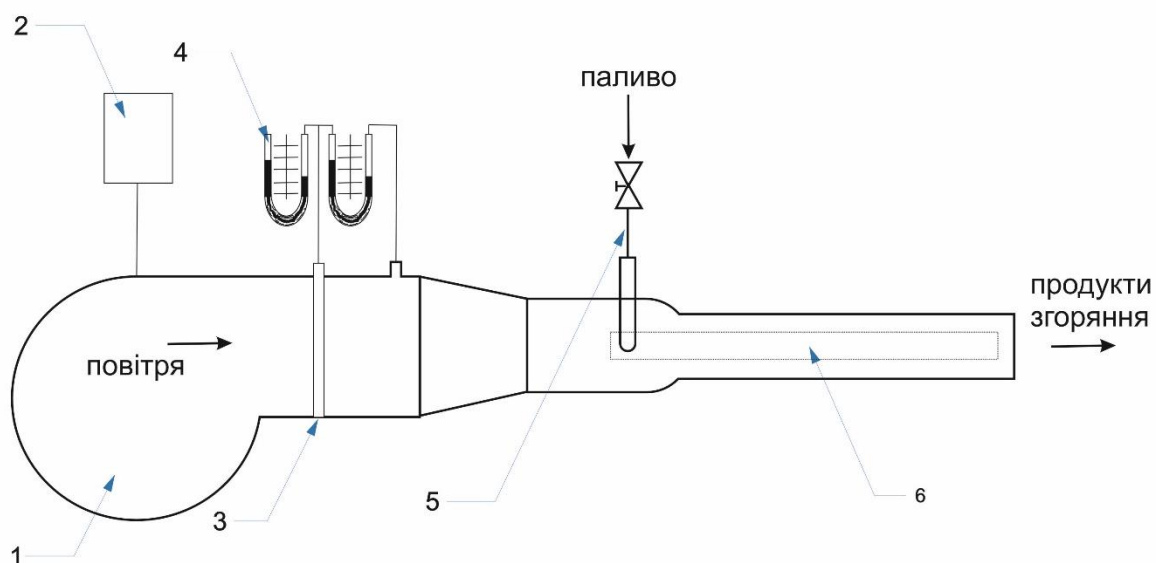


Рис. 2.8 - Схема експериментального стенду лабораторії НВО СНТ для дослідження роботи циліндричних пілонів: 1 – вентилятор; 2 – пристрій частотного регулювання обертів вентилятора; 3 – інтегральна трубка Піто; 4 – блок манометрів; 5 – подача палива; 6 – циліндричний струменево-нішевий модуль.

2.1.10.3 Експериментальний стенд лабораторії КПІ для дослідження впливу управління формою факелу профілюванням амбразури ПП з циліндричним пілоном

Схему стенду для дослідження впливу управління формою факелу профілюванням амбразури ПП з циліндричним пілоном представлено на рисунку 2.9.

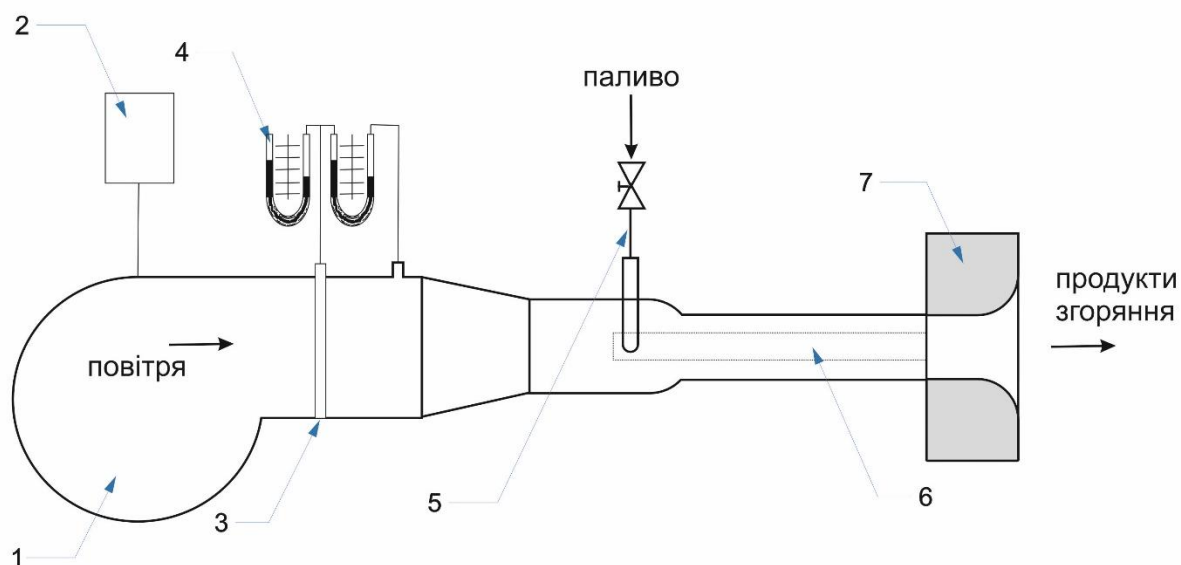


Рис. 2.8 - Схема експериментального стенду лабораторії НВО СНТ для дослідження роботи циліндричних пілонів: 1 – вентилятор; 2 – пристрій частотного регулювання обертів вентилятора; 3 – інтегральна трубка Піто; 4 – блок манометрів; 5 – подача палива; 6 – циліндричний струменево-нішевий модуль; 7 – амбразура, внутрішня поверхня якої відтворює певну ділянку лівнескати Бернуллі.

2.1.11 Методика проведення досліджень на лабораторних експериментальних стендах

Під час експериментів на зазначених вище лабораторних експериментальних стендах здійснювалися наступні виміри:

- Тиск газу – датчик статичного тиску та U-подібний манометр;
- Витрата повітря оцінювався за відомою площею перерізу повітряного каналу ПП та повного тиску повітря перед ним;
- Повний тиск повітря вимірювався датчиком повного тиску (інтегруюча трубка) та U-подібним манометром;
- Швидкісні поля паливно-повітряної суміші на виході ПП мірялися термоанімометром Trotec BA30WP;
- Рівномірність розподілу температури продуктів згоряння в різних перерізах факела оцінювалася за допомогою сітки, що нагрівається, і інфрачервоного лазерного термометра Testo 830-T1.

2.1.12 Методика обробки експериментальних даних

Розрахунки проводяться за формулами, наведеними у відповідній технічній документації та спеціальній технічній літературі.

При обробці результатів випробувань за звичайних умов прийнято, що тиск і температура навколишнього середовища дорівнюють $P_n = 101325$ Па, $t_n = 0$ °С.

Якщо інформація про склад газу відома, нижча теплота згоряння палива розраховується таким чином:

$$Q_n^p = 126,4CO + 107,9H_2 + 358,8CH_4 + 643,6C_2H_6 + 931,8C_3H_8 + 1227,8C_4H_{10} + 1566,3C_5H_{12} + 594,0C_2H_4 + 876,1C_3H_6 + 176,2C_4H_8 + 1487,4C_5H_{10} + 1556,7C_6H_6 + 233,7H_2S$$

Витрата газу V_{Γ}^H , м.куб /с, яка приведена до нормальних умов, розраховується за формулою:

$$V_{\Gamma} = K_{\Delta} \sqrt{\frac{\Delta P_{\Gamma}^{\Delta}}{\rho_{\Gamma}^{\Delta}}}, \quad (2.1)$$

де K_{Δ} – коефіцієнт, що враховує геометричні характеристики діафрагми та визначається за результатами повірки у відповідних метрологічних організаціях;

$\Delta P_{\Gamma}^{\Delta}$ - перепад тиску газу на діафрагмі, Па; ρ_{Γ}^{Δ} - густина газу в реальних умовах, кг/м³. Розраховується за формулою:

$$\rho_{\Gamma}^{\Delta} = \frac{(P_6 - P_{\Gamma}^{\Delta})}{(t_{\Gamma}^{\Delta} - 273)R_{\Gamma}}, \quad (2.2)$$

де P_{Γ}^{Δ} - надлишковий тиск газу перед діафрагмою, Па; t_{Γ}^{Δ} - температура газу перед діафрагмою, °С; R_{Γ} - 482 Дж/(кг·К) – газова стала природного газу.

Витрата газу V_{Γ}^H , м. куб/с, яка приведена до нормальних умов, розраховується за формулою:

$$V_{\Gamma}^H = \frac{273 * (P_{\Gamma}^{КОЛ} + P_6)}{101325 * (273 + t_{\Gamma}^{КОЛ})}, \text{ м. куб/с}, \quad (2.3)$$

де $P_{\Gamma}^{КОЛ}$ - надлишковий тиск газу перед газорозподільним колектором, Па; $t_{\Gamma}^{КОЛ}$ - температура газу перед газовим колектором, °С.

Витрата повітря V_{Π} , м. куб /с, яка виміряна за допомогою інтегруючої трубки Піто:

$$V_{\Pi} = K_{\text{тр}} \sqrt{\frac{\Delta P_{\Pi}^{\text{тр}}}{\rho_{\Pi}^{\text{тр}}}}, \quad (2.4)$$

де $K_{\text{тр}}$ – коефіцієнт, який враховує геометричні характеристики трубки (в загальному випадку приймається рівним одиниці); $\Delta P_{\text{п}}^{\text{тр}}$ - динамічна складова тиску повітря в робочій ділянці, Па; $\rho_{\text{п}}^{\text{тр}}$ - густина повітря в реальних умовах, кг/м. куб. Розраховується за формулою:

$$\rho_{\text{п}}^{\text{д}} = \frac{(P_{\text{б}} + P_{\text{п}}^{\text{тр}})}{(t_{\text{п}}^{\text{тр}} + 273)R_{\text{п}}}, \quad (2.5)$$

де $P_{\text{п}}^{\text{тр}}$ - надлишковий тиск повітря перед інтегруючою трубкою Піто, Па; $t_{\text{п}}^{\text{тр}}$ - температура повітря перед інтегруючою трубкою Піто, °C; $R_{\text{п}}$ - 281,53 Дж/(кг·К) – газова стала повітря.

Витрата повітря $V_{\text{п}}^{\text{н}}$, м. куб/с, приведена до нормальних умов:

$$V_{\text{п}}^{\text{н}} = \frac{273 * (P_{\text{п}}^{\text{снс}} + P_{\text{б}})}{101325 * (273 + t_{\text{п}}^{\text{снс}})}, \quad (2.6)$$

де $P_{\text{п}}^{\text{снс}}$ - надлишковий тиск повітря перед струменево-нішевим стабілізатором, Па; $t_{\text{п}}^{\text{снс}}$ - температура повітря перед струменево-нішевим стабілізатором, °C.

Теплова потужність системи $N_{\text{п}}$, кВт, розраховується за формулою:

$$N_{\text{п}} = V_{\text{п}}^{\text{н}} * Q_{\text{н}}^{\text{р}}, \quad (2.7)$$

2.2 Прилади та оцінка похибок вимірювання

Топкові процеси це складна взаємодія аеродинаміки, хімічної кінетики та теплопередачі у топковому просторі. Тому приладова база повинна враховувати всі складові процесу.

2.2.1 Похибка визначення витрати та тиску палива

Дослідження витрати палива на дослідної кондитерської печі фабрики HAAS MEINCKE виконувалося за допомогою штатного лічильника газу Elster Quantometer QA 16 25 G1. Похибки визначення витрати пального розраховувалися відповідно до паспортних характеристик приладу:

- при пропускній здатності $Q_{\max}$ від 20% до 100% помилка становить $\pm 1,5\%$;
- при пропускній здатності $Q_{\max}$ від 10% до 20% помилка становить $\pm 3\%$.

Дослідження витрати палива на печі випалу вапна КМ-14 ММК ім. Ілліча м. Маріуполь виконувалося за допомогою штатного лічильника газу Itron (Actaris) TZ-FLUXI. Межі допустимої основної відносної похибки лічильників діапазонах об'ємних витрат не перевищують:

- $Q_{\min} \leq Q < 0,1 Q_{\max} - \pm 3,0 \%$
- $0,1 \cdot Q_{\max} \leq Q \leq Q_{\max} - \pm 1,5 \%$

Вимірювання тиску потоку газу на печі випалу вапна КМ-14 проводилось за допомогою смарт-зонд манометра Testo 510i. Діапазон вимірювань і межі абсолютної похибки, що допускається:

- Від 0 до 1(вкл.) – $\pm 0,05$
- Понад 1 до 150 – $\pm (0,2 + 0,015 \cdot \text{виміряна величина})$

2.2.2 Похибка вимірювання температурних характеристик

Дослідження температурних характеристик дослідної кондитерської печі фабрики HAAS MEINCKE:

- температура продуктів згоряння на виході з печі; температура холодного повітря на вході в піч;

- температура повітря на вході рециркуляційного вентилятора;
- температура повітря на вході модуля нагріву;

виконувалося за допомогою хромель-крапель термопари з вторинним приладом (діапазон вимірюваних температур коливається в межах від -253 до $+600^{\circ}\text{C}$.)). Також, згідно з нашою методикою, було розроблено методи вимірювання характеристик температурної рівномірності в топковому просторі.

Дослідження температурних характеристик печі випалу вапна КМ-14 ММК ім. Ілліча м. Маріуполь (температура шихти, стінок та склепінь топки) виконувалося за допомогою здвоєних нескранованих термопар з діаметрами спаїв $0,5\text{мм}$ і $1,2\text{мм}$. Відкриті робочі кінці термопар по черзі містилися в ту саму точку потоку. Розходження в показах термопар вказувало на різний тепловідвід від спаїв.

Також, згідно з нашою методикою, було розроблено методи вимірювання характеристик температурної рівномірності в топковому просторі.

2.2.3 Похибка вимірювання емісійних характеристик

Дослідження емісійних характеристик на експериментальних стендах та експериментально-промислових стендах виконувалось за допомогою газоаналізатору Testo 330 – 2L. Таким чином, похибки визначення концентрацій оксидів вуглецю, азоту, а також вмісту кисню розраховуються у відповідності до паспортних характеристик приладу.

Похибка визначення CO в діапазоні значень до 8000 ppm становить від $\pm 2\text{ ppm}$ від показів при роздільній здатності сенсору 1 ppm .

Похибка визначення NO_x складає від $\pm 2\text{ ppm}$ в діапазоні значень до 3000 ppm при роздільній здатності сенсору 1 ppm .

Похибка визначення вмісту O_2 в продуктах згоряння в діапазоні вимірювань $0\ldots 20\%$ становить $\pm 0,2\%$ від показів при роздільній здатності сенсору $0,1\%$.

2.3 Висновки до Розділу 2

Для вирішення завдань дослідження була вироблена методологія та методика проведення досліджень, яка передбачала математичне моделювання та експериментальні дослідження:

- у промислових умовах на наступних промислових та експериментальних печах:
 - ❖ Промислова піч із випікання кексів на данської фабрики Хаас-Майнке в Копенгагені;
 - ❖ Піч випалення вапна КМ-14 на ММК ім. Ілліча у Маріуполі;
 - ❖ Промислова піч із випікання вафельного листу на фабриці Домінік в Полтаві.
- у лабораторних умовах:
 - ❖ на експериментальних стендах лабораторії НВО СНТ для дослідження роботи плоских і циліндричних пілонів;
 - ❖ на експериментальному стенді лабораторії КПІ для дослідження впливу амбразури на параметри факелу ПП з циліндричним пілоном.

Методики проведення досліджень на експериментальних стендах та методики обробки експериментальних даних, що використовувались при проведенні досліджень, багато років розроблялися, апробувалися та вдосконалювалися у лабораторії горіння теплоенергетичного факультету Київського політехнічного інституту.

Була проведена оцінка похибок вимірювання приладових вимірювань: похибка визначення витрати та тиску палива; похибка вимірювання температурних характеристик; похибка вимірювання емісійних характеристик.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ТА ОСОБЛИВОСТІ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПП ВИХРОВОГО ТИПУ, ЩО ПРАЦЮЄ В ІМПУЛЬСНОМУ РЕЖИМІ НА ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВОМУ ЗРАЗКУ ПЕЧІ З ВИПІКАННЯ КЕКСІВ НА ФАБРИЦІ НАAS-MAINСКЕ (М. КОПЕНГАГЕН, ДАНІЯ)

3.1 Конструкція та особливості робочого процесу печі

Основна частина низькотемпературної печі для випікання кексів (рис.3.1) спеціалізованого науково-дослідного центру на фабриці НАAS-MEINСКЕ – це нагрівальний модуль, в якому встановлений пальниковий пристрій вихрового типу (рис. 3.2) одного з провідних виробників пальників для вогнетехнічних об'єктів. Виробнича потужність даного пальника від 35 до 200 КВт. (дані надані фабрикою).



Рис. 3.1 Дослідно-промисловий зразок печі з випікання кексів на фабриці НАAS-MAINСКЕ



Рис. 3.2 Нагрівальний модуль печі, в якому встановлений пальниковий пристрій вихрового типу

Необхідно відзначити, що при експлуатації вогнетехнічних об'єктів у всіх існуючих світових галузях промисловості, основна частка витрати природного газу припадає на наступні підвиди пальникових пристроїв, розділених за своїми конструктивними особливостями на такі основні типи:

- вихрові із закруткою потоку окислювача;
- з зоною зворотних струмів за тілом, яке є поганообтічним;
- з інжекцією паливом потоку окислювача;
- подові пальники.

Сучасні пальникові пристрої, вироблені виробниками в усьому світі, в основному використовують застарілий, на наш погляд, перший тип ПП, який не зазнав будь-яких серйозних, принципових конструкторських змін протягом ось уже більше 20 років – вихрові пальникові пристрої із закруткою потоку окислювача. Діапазон робочого регулювання цих пальників є недостатнім для виконання вимог

технологічного процесу, тому що надвеликі витрати газу при включенні та виключенні ПП призводять до надвеликих втрат (до 20%) палива. Що недопустимо виходячи з інформації на початку даної статті.

Саме таким типам пальників, нажаль, найчастіше віддають перевагу такі відомі виробники як: WEISHAUPТ, RIELLO, DREIZLER, CUENOD і т.д. Конструкторське бюро даних компаній давно скоротили витрати на розробку нових, ефективніших способів спалювання, зробивши ставку на вирівнювання економічних та екологічних показників роботи своїх пальників за рахунок:

- організації очищення відпрацьованих газів дорогими фільтрами та не менш дорогого їх обслуговування;
- великих витрат на електроніку, що контролює та регулює роботу пальника в режимах, заданих умовами технологічного процесу.

Отже, нагрівальний модуль печі служить для підігріву повітря, що йде на технологічний процес (схема з проміжним теплоносієм). У часовому діапазоні, в якому проводилися вимірювання, ПП працював в імпульсному режимі. Системою управління була запрограмована витрата газу в 12,3 м³/год і виставлена температура, відповідна технологічним вимогам на наступних режимах роботи печі: перший і другий режим 180 °С; третій режим – 220 °С. Підтримка температурного режиму здійснювалася в автоматичному режимі за рахунок частоти включень і повних відключень ПП. Фіксація і реєстрація температурного режиму відбувалась за допомогою автоматики печі.

У нагрівальний модуль дослідницької печі подається повітря, частково відібране рециркуляційним вентилятором з потоку відпрацьованого повітря після технологічного процесу в кількості 8000 м³/год. Крім того, на вхід нагрівального модуля подається атмосферне повітря для розбавлення рециркуляційного повітря і зниження його вологості в кількості до 750 м³/год. Частина відпрацьованого повітря, що залишилася, разом з димовими газами подається в трубу. Повітря, що йде на

технологічний процес, підігрівається в нагрівальному модулі, огинаючи топку і димогарні труби, через які проходить продукти згоряння, які генеруються в топці.

Для оцінки ефективності роботи печі і складання її теплового балансу було виміряно ряд узгоджених параметрів:

- Витрата газу на різних технологічних режимах роботи печі;
- Температура продуктів згоряння на виході з печі;
- Температура холодного повітря на вході в піч;
- Температура повітря на вході рециркуляційного вентилятора;
- Температура повітря на вході модуля нагріву;
- Аналіз відпрацьованих газів: Надлишку повітря, CO, CH₄, NO_x і температури відхідних газів до скидання в цю ж трубу відпрацьованого повітря з печі.

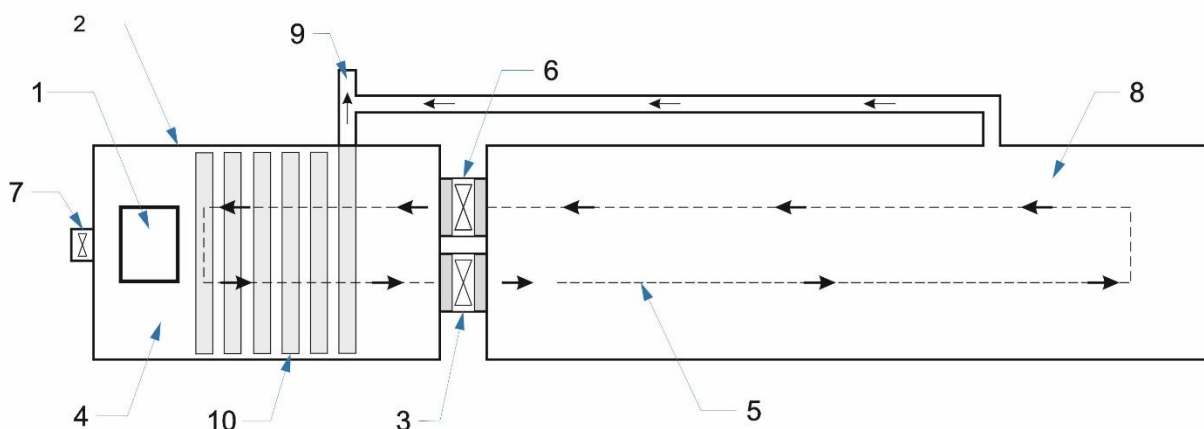


Рис.3.3 Робоча схема печі з випікання кексів на фабриці HAAS-MEINCKE

Природний газ і повітря подаються у ПП (1) та спалюються у камері згоряння (4) нагрівального модуля – теплообмінник (2), призначений для нагрівання повітря, що йде в робочу зону печі. Отримані продукти згоряння, проходячи через димогарні труби (10) теплообмінника (2), підігрівають повітря, яке подається в теплообмінник вентилятором (3). Підігріте повітря прямує для підтримки технологічного процесу в робочу камеру (8), де відбувається випікання продукції. Після чого відпрацьоване через повітря частково подається вентилятором (6) в

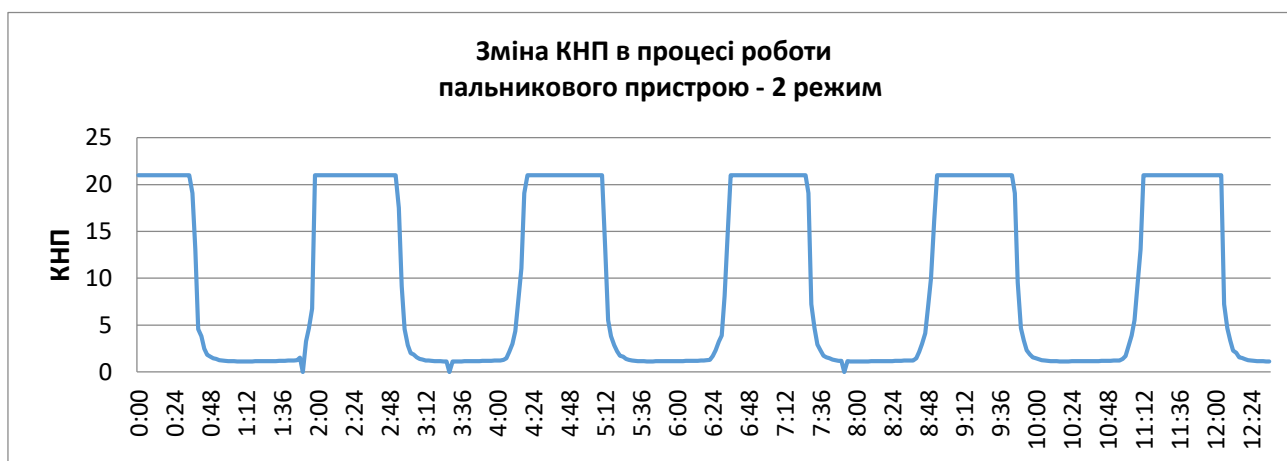
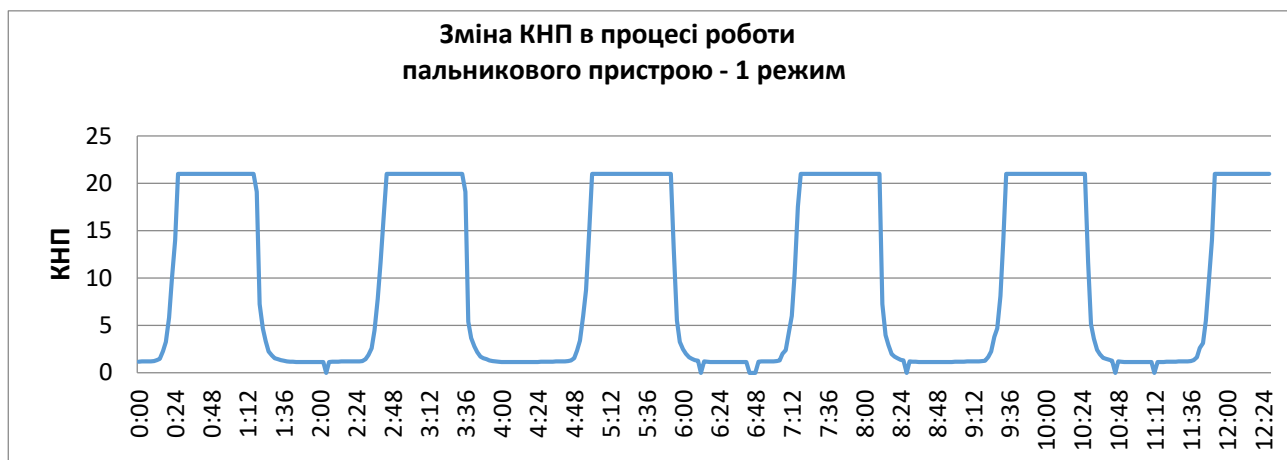
контур (5) циркуляції пічного повітря і далі знову в піч, а частково з газами пальника, що йдуть, скидається у вихлопну трубу (9). Поряд із цим циклічно проводиться впуск свіжого холодного повітря з низькою вологістю на всмоктуючий канал вентилятора (7). Для впуску та випуску повітря встановлені спеціальні узгоджені клапани. Випускний клапан відкривається, коли необхідно випустити частину відпрацьованого повітря з високою вологістю (при цьому ПП вимикається). Після чого спрацьовує впускний клапан, який впускає свіже повітря з низькою вологістю (при цьому ПП вмикається). Цей цикл становить за часом 2 – 2,5 хвилини (залежно від технологічного режиму). У цьому робочій камері підтримується температура, задана даного режиму. Внаслідок вимірів: витрати газу на різних технологічних режимах роботи печі, Температури продуктів згоряння на виході з печі, Температури холодного повітря на вході в піч, Температури повітря на вході рециркуляційного вентилятора, Температури повітря на вході модуля нагріву. Також був проведений аналіз відпрацьованих газів: Надлишку повітря, CO, CH₄, NO_x і температури відхідних газів до скидання до цієї труби відпрацьованого повітря з печі. Отримані дані на трьох робочих режимах печі були систематизовані та представлені у вигляді зведених Excel-таблиць (див. Додаток В).

3.2 Обробка результатів досліджень.

Враховуючи, що штатний пальниковий пристрій працює в імпульсному режимі (постійно чергуються цикли: включення та вимикання пальника), ми постаралися на основі отриманих матеріалів, визначити ці цикли в масиві даних та детально розібрати кожен із них.

Для визначення якості процесу спалювання газу в ПП розглянемо виміряні дані за значеннями коефіцієнтів надлишку повітря (КНП) у тимчасових інтервалах всіх трьох режимів теплового навантаження (температура в зоні випічки).

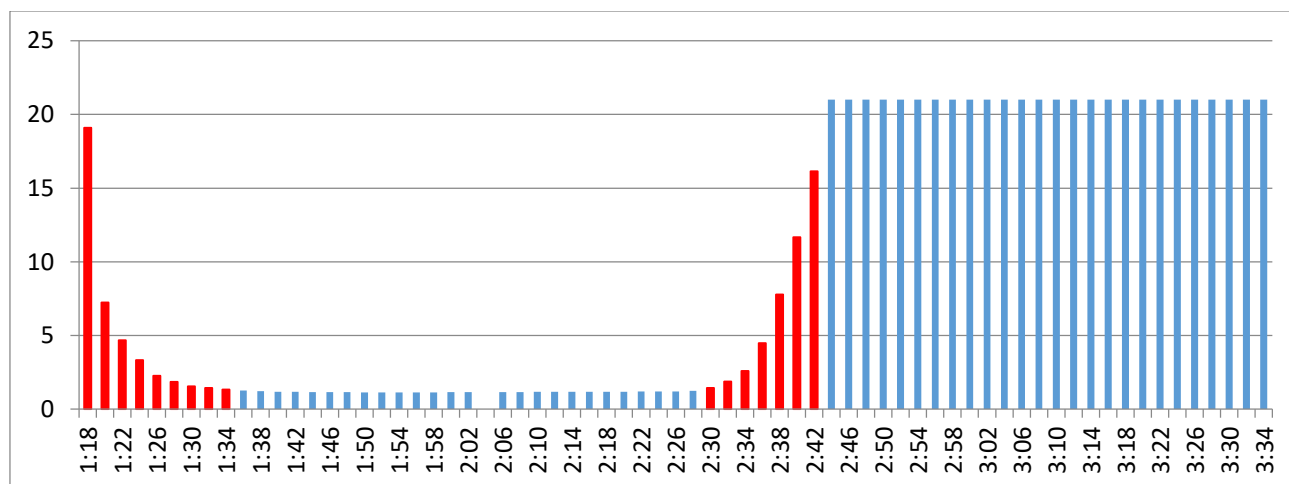
Виходячи з побудованих графіків видно, що кожному часовому інтервалу режиму відповідає певна кількість, ідентичних між собою циклів:



Кожен із циклів включає три характерні зони, що відповідають певним значенням коефіцієнта надлишку повітря (тобто скільки надлишкового повітря присутній при спалюванні газу в камері згоряння):

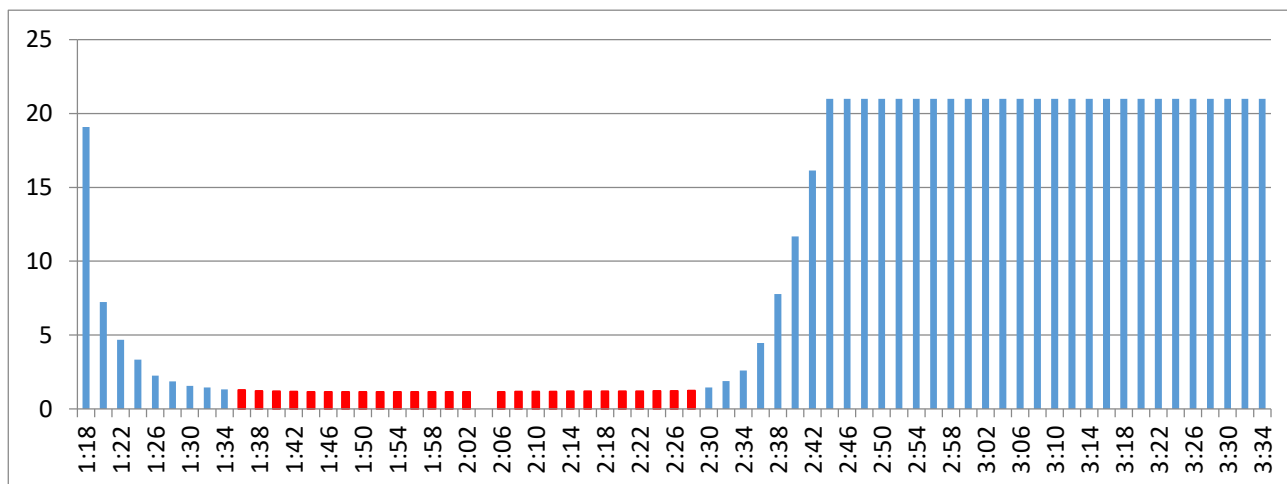
Зона «А»:

Перехідна зона. Згоряння газу може відбуватися не повністю - значення «Альфа» знаходиться в діапазоні від 1,3 до 21. Враховуючи неможливість підтримки необхідного співвідношення газ-повітря на змінних режимах, включення та вимкнення ПП (перехід на режим і вихід з режиму) супроводжуються великими викидами СО та незгорілого метану. Результати вимірювань показали, що в цій зоні, залежно від значення «Альфа», може перебувати від 10% до 40% метану, що не згорів. Виникає небезпека загазованості та створення вибухонебезпечної ситуації.



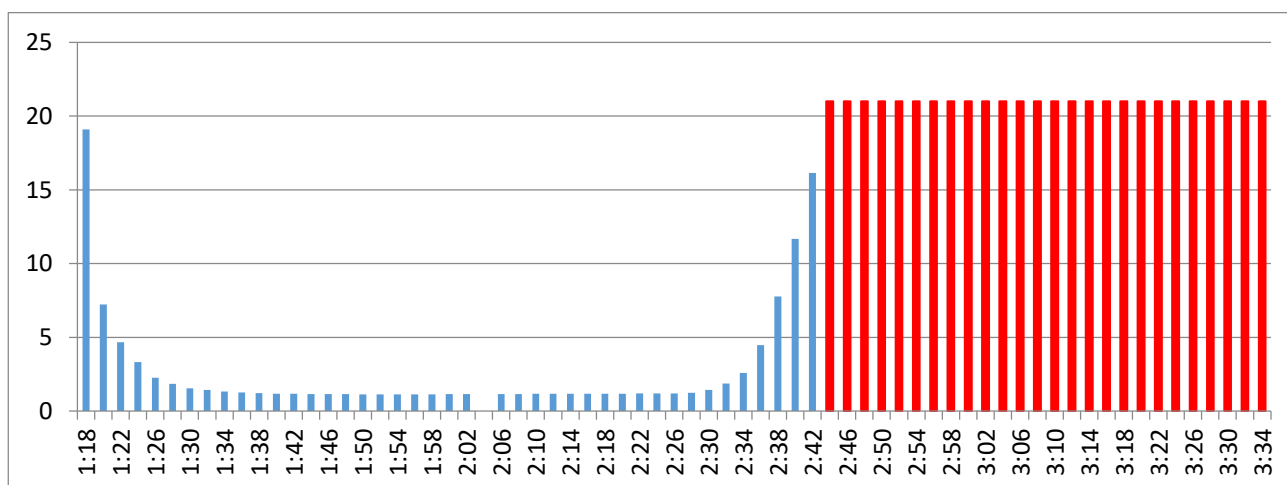
Зона «В»:

Зона стійкого горіння. Значення «Альфа» знаходиться в діапазоні від 1,14 до 1,3. Згоряння газу відповідає нормі. Вміст CO та Nox у допустимих межах.



Зона «С»:

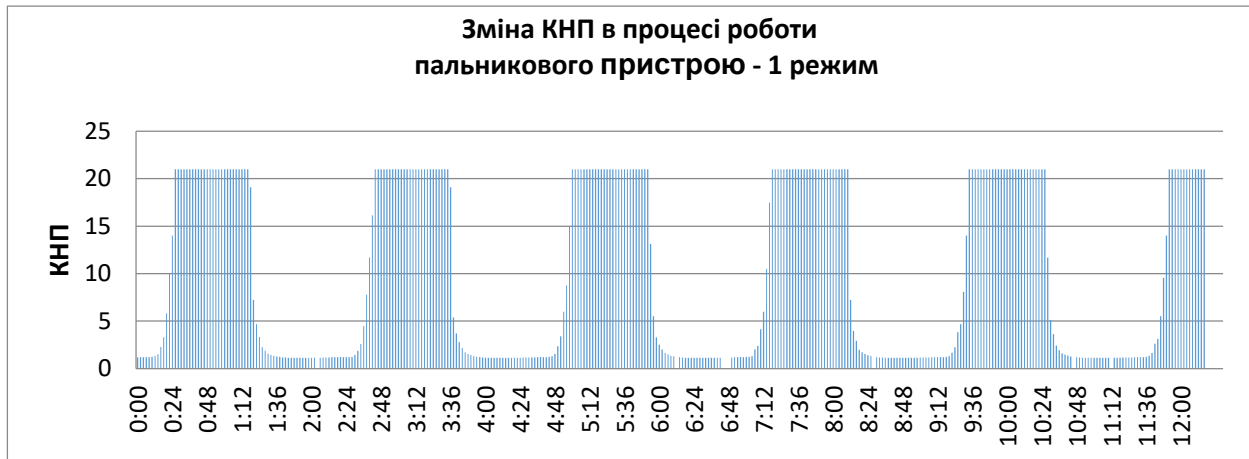
Зона, де горіння відсутнє. Незважаючи на відсутність горіння, прилади фіксують витрати газу через ПП внаслідок інерційності системи регулювання подачі газу.



3.2.1 Перший технологічний режим

Temperature setting/температурний режим	180°C
Fresh air intake/ споживання холодного повітря	50%
Fan speed/ швидкість обертання вентилятора	50%
Volumetric flow in blower/ об'ємний потік у вентиляторі	4000
Fresh air intake volumetric/ об'ємний потік вхід. холод.	375 m ³ /h

Для визначення роботи ПП у кожному з відрізків циклу (насамперед щодо витрати газу), нами бралися часові інтервали виміру кожного з характерних проміжків. Потім, за даними посекундного вимірювання газу, визначалася витрата газу на даному інтервалі.



Загальна витрата газу за вимірний період першого режиму, оцінена за даною методикою, склала:

$$\sum V(1) = 1769,38 \text{ м. куб.} - 1767,96 \text{ м. куб.} = \mathbf{1,42 \text{ м.куб}}$$

Вимірювання на першому режимі проводились у часовому інтервалі: 12 хвилин 16 секунд.

$$\sum Z(1) = 12 \text{ мин } 16 \text{ сек} = \mathbf{736 \text{ сек}}$$

Загальні втрати метану за перший режим рівні сумарному значенню втрати метану в зонах «А» і зонах «С».

Втрати метану в зонах "С":



Загальний час роботи ПП у зоні «С»:

$$C \text{ Zeit}^1 + C \text{ Zeit}^2 + C \text{ Zeit}^3 + C \text{ Zeit}^4 + C \text{ Zeit}^5 + C \text{ Zeit}^6 = \sum C \text{ Zeit (sec)}$$

$$\sum C \text{ Zeit} = (01:16 - 00:26) + (03:34 - 02:44) + (05:52 - 05:00) + (08:10 - 07:18) + (10:26 - 09:34) + (12:16 - 11:52) = 50 + 50 + 52 + 52 + 52 + 24 = 280 \text{ sec}$$

Сумарні втрати метану у зоні «С»:

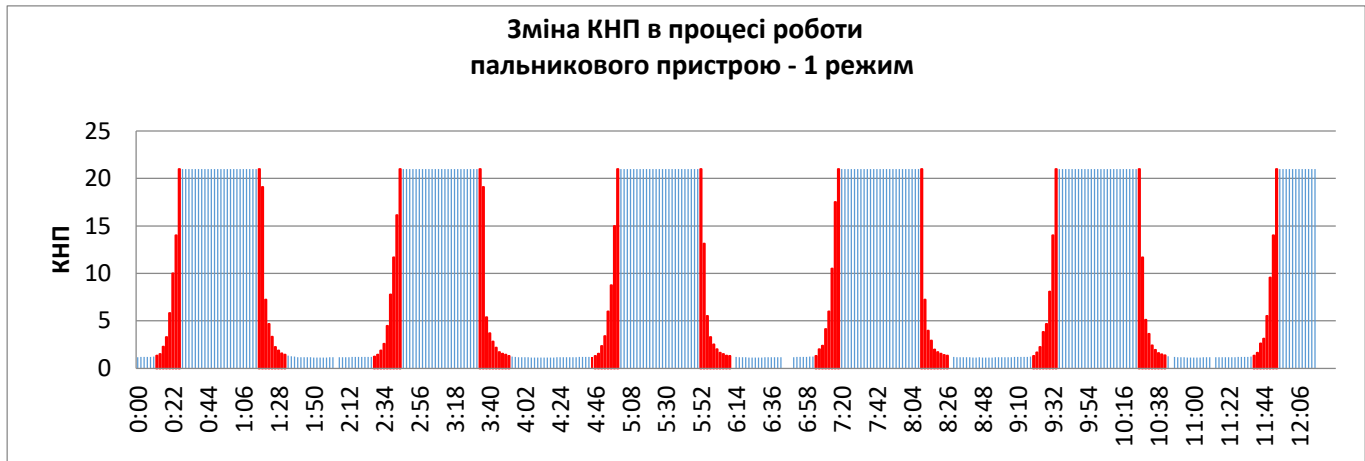
$$C \text{ Methan}^1 + C \text{ Methan}^2 + C \text{ Methan}^3 + C \text{ Methan}^4 + C \text{ Methan}^5 + C \text{ Methan}^6 = \sum C \text{ Methan (m}^3\text{)}$$

$$\sum C \text{ Methan (m}^3\text{)} = (1768,03 - 1768,01) + (1768,3 - 1768,28) + (1768,57 - 1768,55) + (1768,85 - 1768,82) + (1769,12 - 1769,09) + (1769,38 - 1769,36) = 0,14 \text{ м.куб}$$

За цією методикою розрахунку відсоток втрат метану на першому режимі в зонах «С» складає:

$$(\sum C \text{ Methan} * 100\%) / \sum V(1) = (0,14 \text{ м. куб} * 100\%) / 1,42 \text{ м. куб} = 9,85\%$$

Втрати метану в зонах «А»:



Загальний час роботи ПП у зоні «А»:

$$A \text{ Zeit}^1 + A \text{ Zeit}^2 + A \text{ Zeit}^3 + A \text{ Zeit}^4 + A \text{ Zeit}^5 + A \text{ Zeit}^6 + A \text{ Zeit}^7 + A \text{ Zeit}^8 + \\ A \text{ Zeit}^9 + A \text{ Zeit}^{10} + A \text{ Zeit}^{11} = \sum A \text{ Zeit (sec)}$$

$$\sum A \text{ Zeit} = (01:24 - 00:12) + (01:34 - 01:18) + (02:42 - 02:30) + (03:52 - 03:36) \\ + (04:58 - 04:46) + (06:08 - 05:54) + (07:16 - 07:04) + (08:26 - 08:12) + (09:32 - 09:22) \\ + (10:42 - 10:28) + (11:50 - 11:38) = 144 \text{ сек}$$

Сумарні втрати метану у зоні «А»:

$$A \text{ Methan}^1 + A \text{ Methan}^2 + A \text{ Methan}^3 + A \text{ Methan}^4 + A \text{ Methan}^5 + A \text{ Methan}^6 + \\ A \text{ Methan}^7 + A \text{ Methan}^8 + A \text{ Methan}^9 + A \text{ Methan}^{10} + A \text{ Methan}^{11} = \sum A \text{ Methan (m}^3\text{)}$$

$$\sum A \text{ Methan} = (1768,01 - 1767,99) + (1768,08 - 1768,03) + (1768,28 - 1768,26) \\ + (1768,35 - 1768,30) + (1768,55 - 1768,53) + (1768,62 - 1768,57) + (1768,82 - 1768,80) \\ + (1768,89 - 1768,85) + (1769,09 - 1769,07) + (1769,16 - 1769,12) + (1769,36 - 1769,34) \\ = 0,35 \text{ m}^3$$

Можливі втрати метану у зоні «А»:

Виходячи з нашого досвіду, який ґрунтується на більш ніж двадцятирічній практиці реальних вимірів вмісту метану в продуктах згоряння на ряді вогнетехнічних об'єктів України, у таких перехідних зонах на подібних режимах йде в атмосферу, не згоряючи від 10% до 40% метану.

Оцінимо можливий діапазон втрат метану в зонах «А» першого режиму (мінімальні та максимальні значення):

A Methan min (lost) - мінімальне значення можливих втрат метану у зонах «А»:

$$A \text{ Methan min (lost)} = \sum A \text{ Methan} * 10\% = 0,35 \text{ м. куб.} * 10\% = 0,035 \text{ м. куб.}$$

$$(A \text{ Methan min (lost)} * 100\%) / \sum V(1) = (0,035 \text{ м. куб.} * 100\%) / 1,42 \text{ м. куб.} = 2,47 \%$$

A Methan max (lost) - максимальне значення можливих втрат метану у зонах «А»:

$$A \text{ Methan max (lost)} = \sum A \text{ Methan} * 40\% = 0,35 \text{ м. куб.} * 40\% = 0,14 \text{ м. куб.}$$

$$(A \text{ Methan max (lost)} * 100\%) / \sum V(1) = (0,14 \text{ м. куб.} * 100\%) / 1,42 \text{ м.куб.} = 9,85 \%$$

Відповідно, можемо припустити, що відсоток втрат метану в перехідних зонах А на першому режимі знаходиться в діапазоні приблизно від 2,47% до 9,85%.

Загальні можливі втрати метану в зонах «А» і «С» за тимчасовий інтервал 12 хв 16 сек першого режиму знаходяться в діапазоні:

- Мінімальне значення: $\text{от } \sum C \text{ Methan} + A \text{ Methan min (lost)} = 0,14 \text{ м}^3 + 0,035 \text{ м}^3 = 0,175 \text{ м}^3$

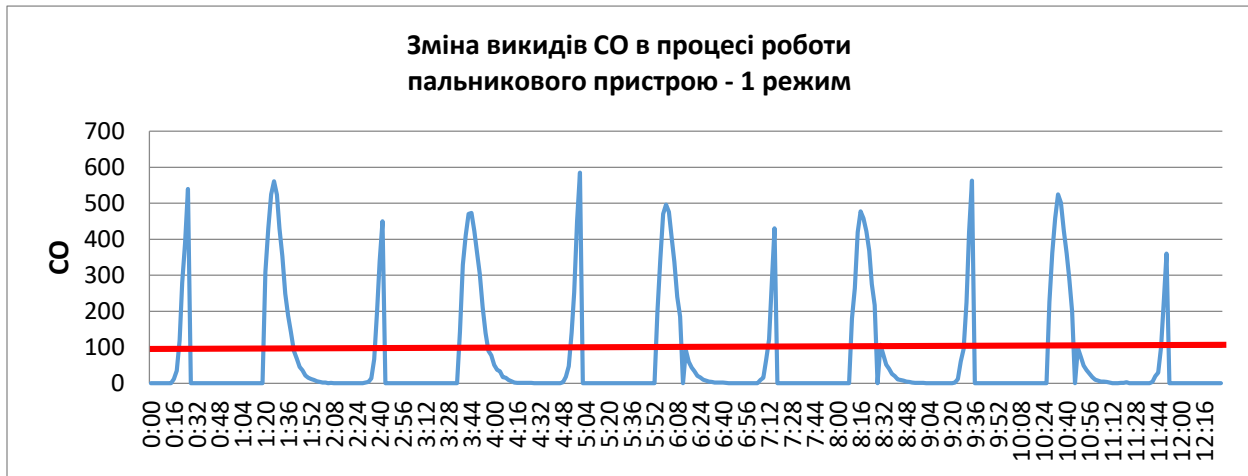
- Максимальне значення: $\text{до } \sum C \text{ Methan} + A \text{ Methan max (lost)} = 0,14 \text{ м}^3 + 0,14 \text{ м}^3 = 0,28 \text{ м}^3$

Відповідно,

- Мінімальне значення: $\text{від } 9,85\% + 2,47\% = 12,32\%$

- Максимальне значення: $\text{до } 9,85\% + 9,85\% = 19,7\%$

Викиди чадного газу – CO.



Загальний час викидів CO що перевищує допустимі норми на першому режимі:

$$(00:26 - 00:20) + (01:38 - 01:20) + (02:42 - 02:38) + (03:54 - 03:36) + (05:00 - 04:54) + (06:10 - 05:54) + (07:16 - 07:12) + (08:30 - 08:10) + (09:34 - 09:30) + (10:46 - 10:28) + (11:50 - 11:46) = 118 \text{ секунд}$$

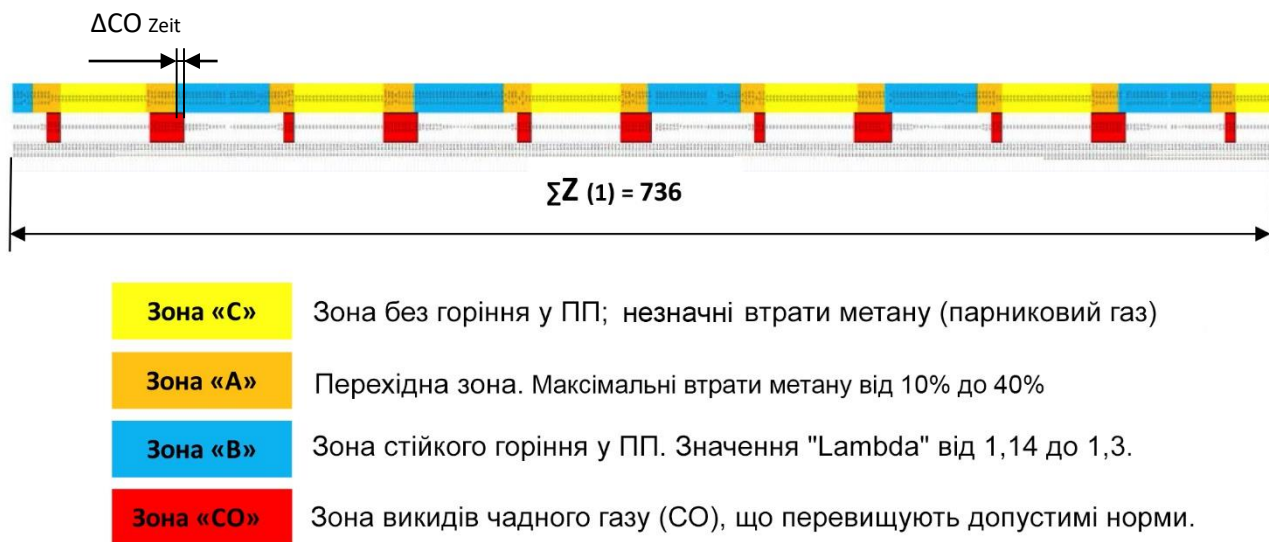
Відсоткове співвідношення часу викидів CO, що перевищують допустимі норми, і всього часового інтервалу першого режиму:

$$(118 \text{ секунд} * 100\%) / 736 \text{ секунд} = 16,03\%$$

На графіку видно, що викиди CO протягом 16,03% часу роботи пальника у багато разів перевищують гранично допустимі концентрації, прийняті в розвинених країнах світу.

Екологічність роботи ПП

СХЕМА РОЗПОДІЛУ ЗОН У ЧАСОВОМУ ІНТЕРВАЛІ ПЕРШОГО РЕЖИМУ



Визначимо загальний час екологічно чистої роботи печі в часовому інтервалі першого режиму.

Загальний час роботи печі в Зонах "В" (зони стійкого горіння) на першому режимі:

$$\Sigma B \text{ Zeit} = \Sigma Z (1) - (\Sigma C \text{ Zeit} + \Sigma A \text{ Zeit}) = 736 \text{ sec} - (280 \text{ sec} + 144 \text{ sec}) = 312 \text{ sec}$$

Для визначення загального часу екологічно чистої роботи печі на першому режимі віднімемо від $\Sigma B \text{ Zeit}$, тимчасові відрізки $\Delta CO \text{ Zeit}$ зони викиду CO, що скорочують (див. схему) часовий інтервал зон "В" зі стійким горінням у ПП:

$$\Sigma B \text{ Zeit} - \Sigma \Delta CO \text{ Zeit} = 312 \text{ sec} - 8 \text{ sec} = 304 \text{ sec}$$

$$(304 \text{ секунди} * 100\%) / 736 \text{ секунд} = 41,3 \%$$

Загальний час екологічно чистої роботи печі на першому режимі по відношенню до часового діапазону проведених вимірювань становить лише **41,3%**.

Температурна нерівномірність

На першому режимі різниця температур у робочому об'ємі печі становила 17°C.

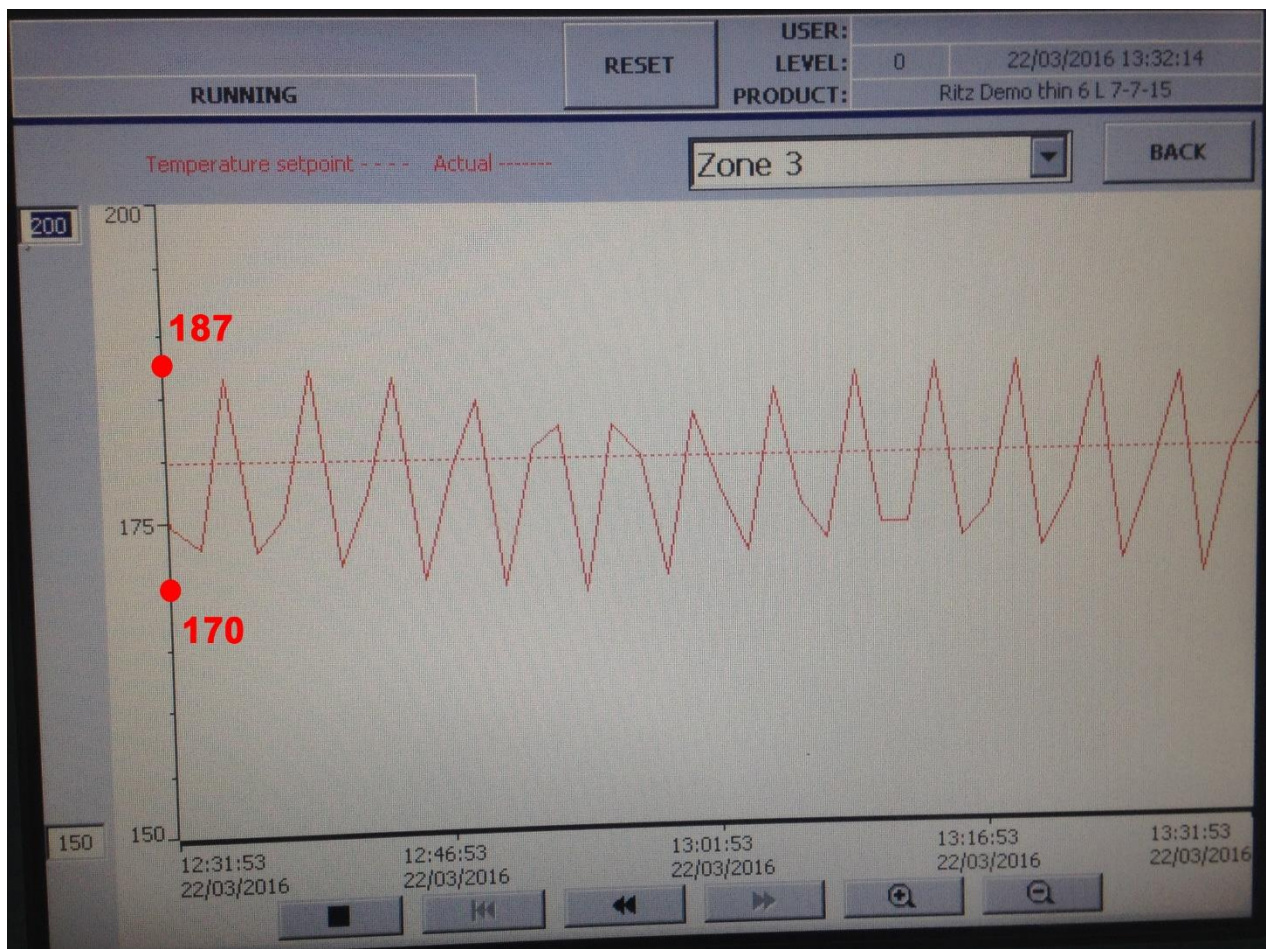
$$\delta = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{max}} * 100\% \quad (1.10)$$

$$187^{\circ}\text{C} - 170^{\circ}\text{C} = 17^{\circ}\text{C}$$

$$17^{\circ}\text{C} / 180^{\circ}\text{C} * 100\% = 9,44 \%$$

Ступень нерівномірності температур становить 9,44 %.

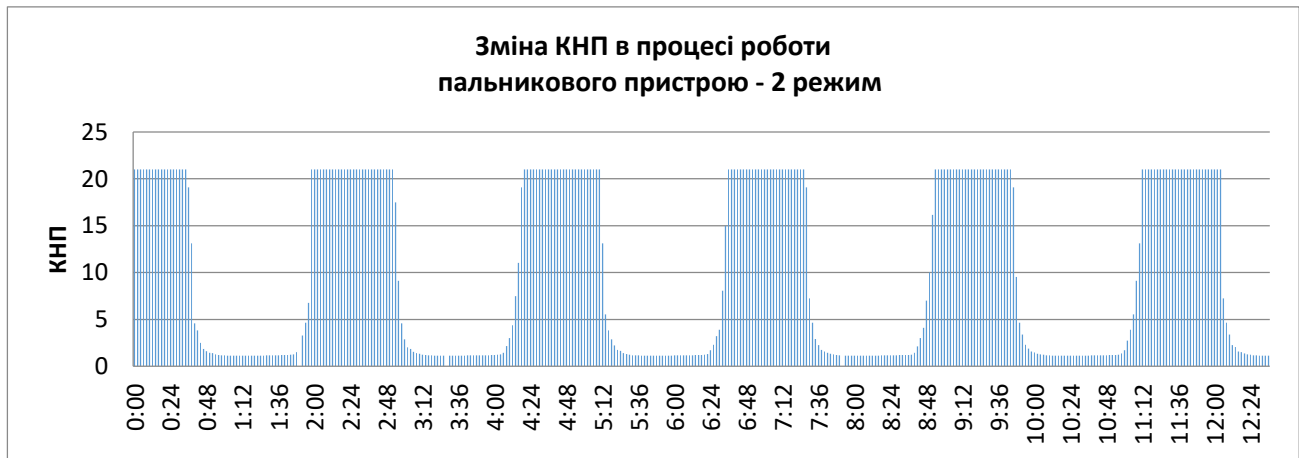
Можливо, ця ситуація здатна призвести до порушень технологічного процесу і погіршення якості готової продукції.



3.2.2 Другий технологічний режим

Temperature setting/температурний режим	180 °C
Fresh air intake/ споживання холодного повітря	100%
Fan speed/ швидкість обертання вентилятора	50%
Volumetric flow in blower/ об'ємний потік у вентиляторі	8000
Fresh air intake volumetric/ об'ємний потік вхід. холод.	750 m ³ /h

Для визначення роботи ПП у кожному з відрізків циклу (насамперед щодо витрати газу), нами бралися часові інтервали виміру кожного з характерних проміжків. Потім, за даними посекундного вимірювання газу, визначалася витрата газу на даному інтервалі.



Загальна витрата газу за виміряний період другого режиму, оцінений за цією методикою, склала:

$$\sum V(2) = 1771,92 \text{ м. куб.} - 1770,45 \text{ м. куб} = \mathbf{1,47 \text{ м.куб}}$$

Вимірювання другого режиму проводились у часовому інтервалі: 12 хвилин 40 секунд.

$$\sum Z(2) = 12 \text{ мин } 40 \text{ сек} = \mathbf{760 \text{ сек}}$$

Загальні втрати метану за перший режим рівні сумарному значенню втрати метану в зонах «А» і зонах «С».

Втрати метану в зонах "С":



Загальний час роботи ПП у зоні «С»:

$$C \text{ Zeit}^1 + C \text{ Zeit}^2 + C \text{ Zeit}^3 + C \text{ Zeit}^4 + C \text{ Zeit}^5 + C \text{ Zeit}^6 = \sum C \text{ Zeit (sec)}$$

$$\sum C \text{ Zeit} = (00:40 - 00:00) + (02:58 - 02:00) + (05:16 - 04:22) + (07:32 - 06:40) + (09:50 - 08:56) + (12:10 - 11:16) = 40 + 58 + 54 + 52 + 54 + 54 = 312 \text{ sec}$$

Сумарні втрати метану у зоні «С»:

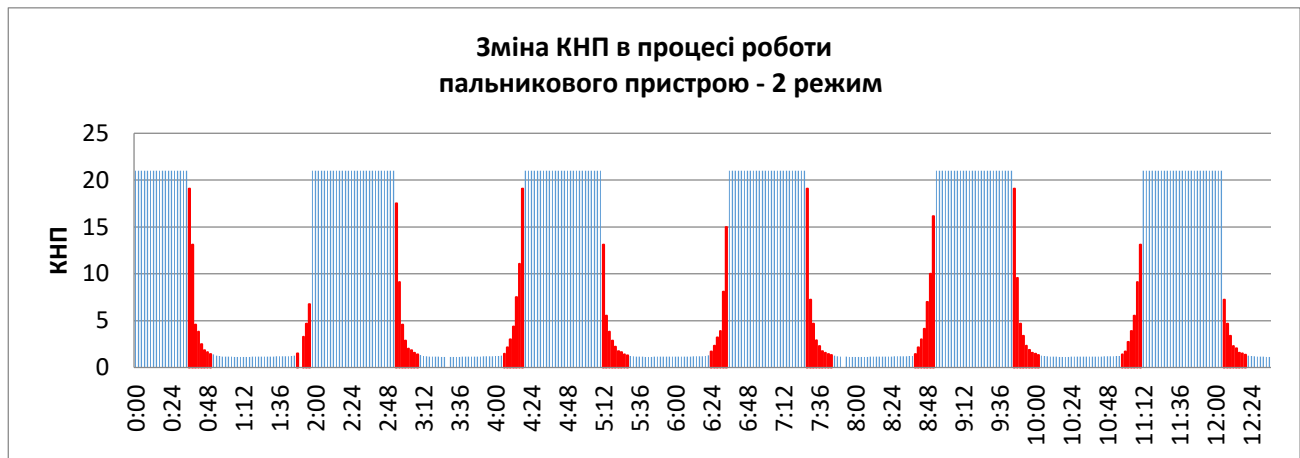
$$C \text{ Methan}^1 + C \text{ Methan}^2 + C \text{ Methan}^3 + C \text{ Methan}^4 + C \text{ Methan}^5 + C \text{ Methan}^6 = \sum C \text{ Methan (m}^3\text{)}$$

$$\sum C \text{ Methan (m}^3\text{)} = (1770,47 - 1770,45) + (1770,74 - 1770,70) + (1771,01 - 1770,98) + (1771,27 - 1771,25) + (1771,55 - 1771,52) + (1771,82 - 1771,79) = 0,17 \text{ m}^3$$

За цією методикою розрахунку відсоток втрат метану на другому режимі в зонах «С» складає:

$$(\sum C \text{ Methan} * 100\%) / \sum V(2) = (0,17 \text{ m}^3 * 100\%) / 1,47 \text{ m}^3 = 11,56\%$$

Втрати метану у зонах «А»:



Загальний час роботи ПП у зоні «А»:

$$A \text{ Zeit}^1 + A \text{ Zeit}^2 + A \text{ Zeit}^3 + A \text{ Zeit}^4 + A \text{ Zeit}^5 + A \text{ Zeit}^6 + A \text{ Zeit}^7 + A \text{ Zeit}^8 + A \text{ Zeit}^9 + A \text{ Zeit}^{10} + A \text{ Zeit}^{11} = \sum A \text{ Zeit (sec)}$$

$$\sum A \text{ Zeit} = (00:56 - 00:40) + (02:00 - 01:52) + (03:14 - 02:58) + (04:22 - 04:10) + (05:30 - 05:16) + (06:40 - 06:28) + (07:48 - 07:32) + (08:56 - 08:44) + (10:06 - 09:50) + (11:16 - 11:02) + (12:24 - 12:10) = \underline{150 \text{ sec}}$$

Сумарні втрати метану у зоні «А»:

$$A \text{ Methan}^1 + A \text{ Methan}^2 + A \text{ Methan}^3 + A \text{ Methan}^4 + A \text{ Methan}^5 + A \text{ Methan}^6 + A \text{ Methan}^7 + A \text{ Methan}^8 + A \text{ Methan}^9 + A \text{ Methan}^{10} + A \text{ Methan}^{11} = \sum A \text{ Methan (m}^3\text{)}$$

$$\sum A \text{ Methan} = (1770,51 - 1770,47) + (1770,70 - 1770,69) + (1770,78 - 1770,74) + (1770,98 - 1770,96) + (1771,05 - 1771,01) + (1771,25 - 1771,23) + (1771,32 - 1771,27) + (1771,52 - 1771,5) + (1771,59 - 1771,55) + (1771,79 - 1771,77) + (1771,86 - 1771,82) = 0,34 \text{ m}^3$$

Можливі втрати метану у зоні «А»:

Оцінимо діапазон втрат метану в зонах «А» другого режиму, з урахуванням можливих його викидів у діапазоні від 10% до 40% (мінімальні та максимальні значення):

Methan min (lost) - мінімальне значення можливих втрат метану в зонах «А»:

$$A \text{ Methan min (lost)} = \sum A \text{ Methan} * 10\% = 0,34 \text{ м. куб.} * 10\% = 0,034 \text{ м. куб.}$$

$$(A \text{ Methan min (lost)} * 100\%) / \sum V(2) = (0,034 \text{ м. куб} * 100\%) / 1,47 \text{ м. куб} = 2,31\%$$

A Methan max (lost) - максимальне значення можливих втрат метану в зонах

«А»:

$$A \text{ Methan max (lost)} = \sum A \text{ Methan} * 40\% = 0,34 \text{ м. куб.} * 40\% = 0,14 \text{ м. куб.}$$

$$(A \text{ Methan max (lost)} * 100\%) / \sum V(2) = (0,14 \text{ м. куб} * 100\%) / 1,47 \text{ м.куб} = 9,52\%$$

Відповідно, можемо припустити, що відсоток втрат метану в перехідних зонах А на другому режимі знаходиться в діапазоні приблизно від **2,31%** до **9,52%**.

Загальні можливі втрати метану в зонах «А» і «С» за тимчасовий інтервал 12 хв 40 сек другого режиму знаходяться в діапазоні:

- Мінімальне значення: від $\sum C \text{ Methan} + A \text{ Methan min (lost)} = 0,17 \text{ м}^3 + 0,034 \text{ м}^3 = 0,204 \text{ м}^3$

- Максимальне значення: до $\sum C \text{ Methan} + A \text{ Methan max (lost)} = 0,17 \text{ м}^3 + 0,14 \text{ м}^3 = 0,31 \text{ м}^3$

Соответственно,

- Мінімальне значення: от **11,56% + 2,31 % = 13,87 %**
- Максимальне значення: до **11,56% + 9,52 % = 21,08 %**

Викиди чадного газу – CO.



Загальний час викидів CO, що перевищує допустимі норми, другого режиму:
 (01:00 – 00:40) + (02:02 – 02:00) + (03:18 – 02:58) + (04:22 – 04:18) + (05:34 – 05:16) + (06:40 – 06:36) + (07:52 – 07:32) + (08:56 – 08:52) + (10:10 – 09:50) + (11:16 – 11:10) + (12:28 – 12:10) = 136 секунд

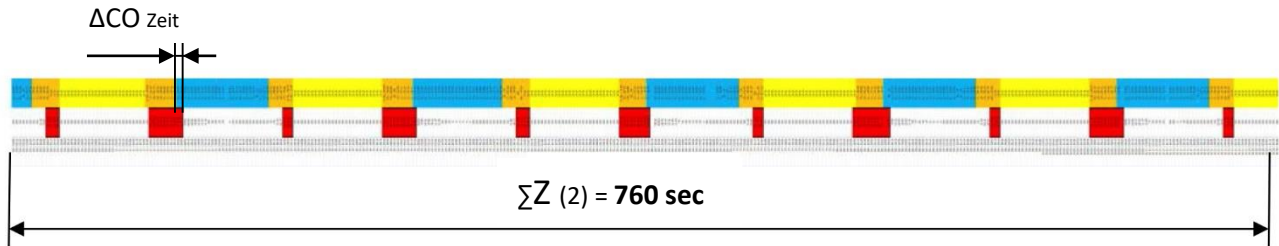
Відсоткове співвідношення часу викидів CO, що перевищують допустимі норми до всього тимчасового інтервалу другого режиму:

$$(136 \text{ секунд} * 100\%) / 760 \text{ секунд} = 17,89 \%$$

На графіці видно, що викиди CO протягом 17,89 % часу роботи пальника в багато разів перевищують гранично допустимі концентрації, прийняті розвинених країн світу.

Екологічність роботи ПП

СХЕМА РОЗПОДІЛУ ЗОН У ЧАСОВОМУ ІНТЕРВАЛІ ДРУГОГО РЕЖИМУ



Зона «С»	Зона без горіння у ПП; незначні втрати метану (парниковий газ)
Зона «А»	Перехідна зона. Максимальні втрати метану від 10% до 40%
Зона «В»	Зона стійкого горіння у ПП. Значення "Lambda" від 1,14 до 1,3.
Зона «СО»	Зона викидів чадного газу (CO), що перевищують допустимі норми.

Визначимо загальний час екологічно чистої роботи печі в часовому інтервалі другого режиму.

Загальний час роботи печі в Зонах "В" (зони стійкого горіння) на другому режимі:

$$\Sigma B \text{ Zeit} = \Sigma Z (2) - (\Sigma C \text{ Zeit } t + \Sigma A \text{ Zeit}) = 760 \text{ sec} - (312 \text{ sec} + 150 \text{ sec}) = 298 \text{ sec}$$

Для визначення загального часу екологічно чистої роботи печі на другому режимі віднімемо від $\Sigma B \text{ Zeit}$, тимчасові відрізки $\Delta CO \text{ Zeit}$ зони викиду CO, що скорочують тимчасовий інтервал зон «В» зі стійким горінням у ПП:

$$\Sigma B \text{ Zeit} - \Sigma \Delta CO \text{ Zeit} = 298 \text{ sec} - 12 \text{ sec} = 286 \text{ sec}$$

$$(286 \text{ секунд} * 100\%) / 760 \text{ секунд} = 37,63 \%$$

Загальний час екологічно чистої роботи печі на другому режимі по відношенню до тимчасового діапазону вимірювань становить лише **37,63 %**.

Температурна нерівномірність

На першому режимі різниця температур у робочому об'ємі печі становила 17°C.

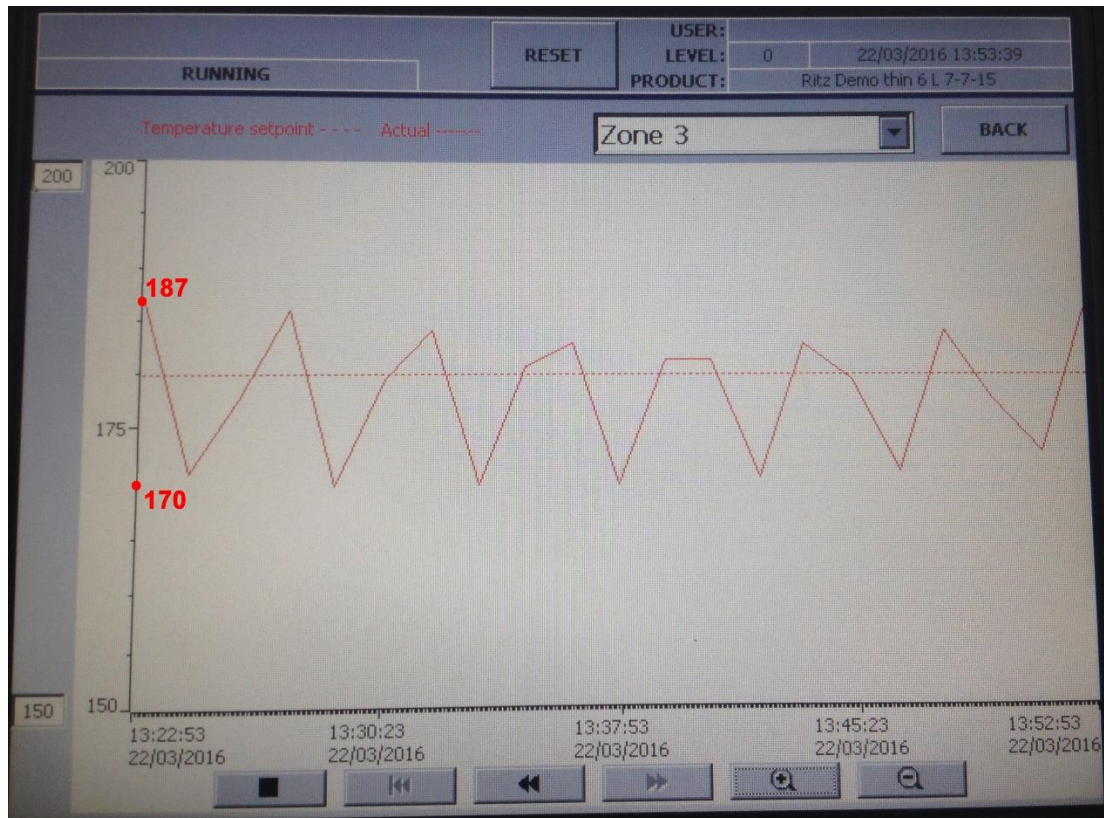
$$\delta = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{max}} * 100\% \quad (1.10)$$

$$187^{\circ}\text{C} - 170^{\circ}\text{C} = 17^{\circ}\text{C}$$

$$17^{\circ}\text{C} / 180^{\circ}\text{C} * 100\% = 9,44 \%$$

Ступень нерівномірності температур становить 9,44 %.

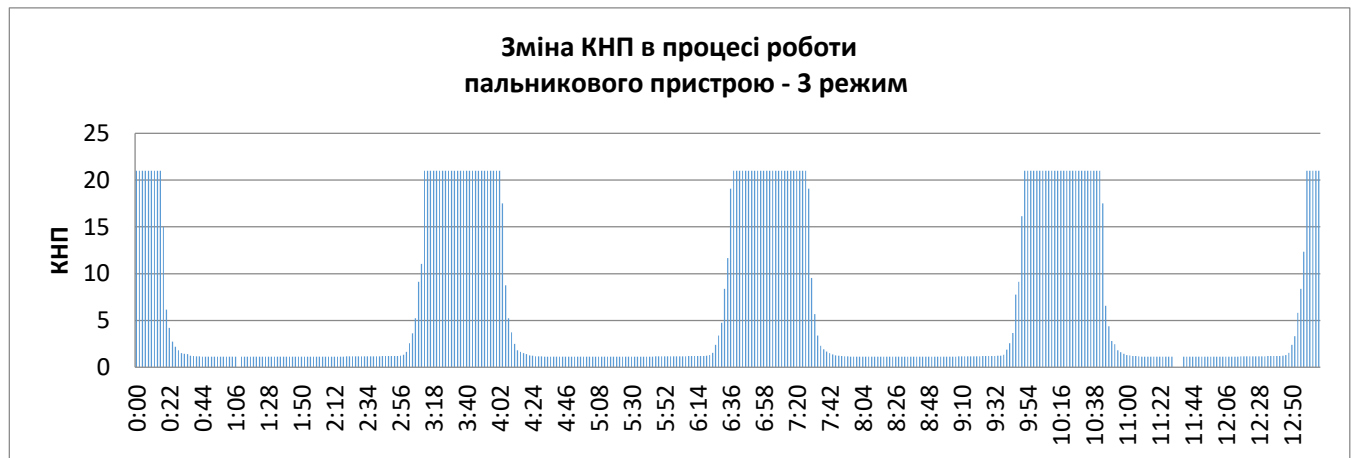
Можливо, ця ситуація здатна призвести до порушень технологічного процесу і погіршення якості готової продукції.



3.2.3 Третій технологічний режим

Temperature setting/ температурний режим	220 °C
Fresh air intake/ споживання холодного повітря	100%
Fan speed/ швидкість обертання вентилятора	100%
Volumetric flow in blower/ об'ємний потік у вентиляторі	8000
Fresh air intake volumetric/ об'ємний потік вхід. холод.	750 m ³ /h

Для визначення роботи ПП у кожному з відрізків циклу (насамперед щодо витрати газу), нами бралися часові інтервали виміру кожного з характерних проміжків. Потім, за даними посекундного вимірювання газу, визначалася витрата газу на даному інтервалі.



Загальна витрата газу за виміряний період другого режиму, оцінений за цією методикою, склала:

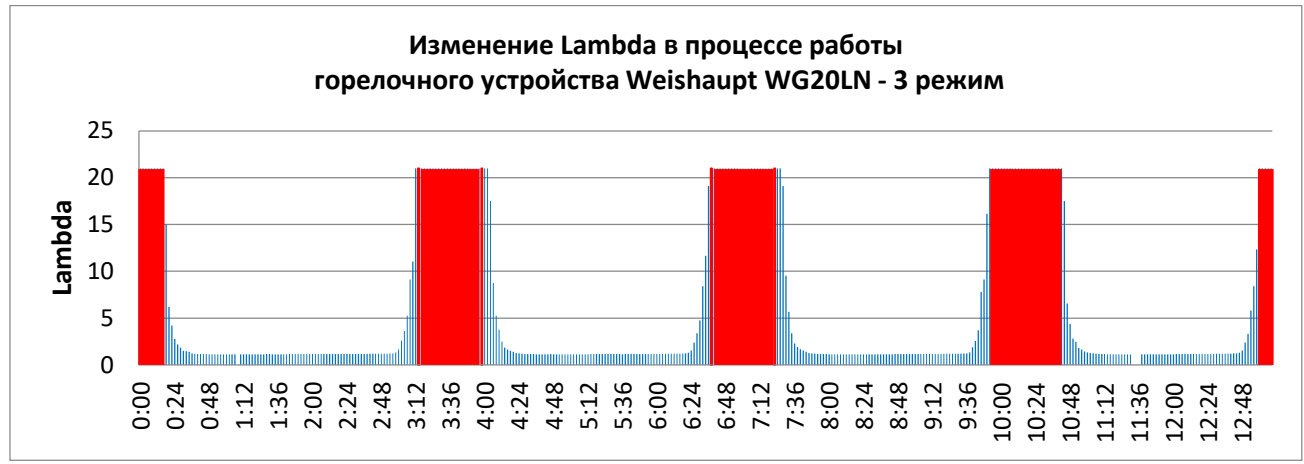
$$\sum V(3) = 1777,39 \text{ м. куб.} - 1775,38 \text{ м. куб.} = \mathbf{2,01 \text{ м. куб}}$$

Вимірювання другого режиму проводились у часовому інтервалі: 13 минут 08 секунд.

$$\sum Z(3) = 13 \text{ мин } 08 \text{ сек} = \mathbf{788 \text{ сек}}$$

Загальні втрати метану за третій режим рівні сумарному значенню втрати метану в зонах «А» і зонах «С».

Втрати метану в зонах "С":



Загальний час роботи ПП у зоні «С»:

$$C \text{ Zeit}^1 + C \text{ Zeit}^2 + C \text{ Zeit}^3 + C \text{ Zeit}^4 + C \text{ Zeit}^5 = \sum C \text{ Zeit (sec)}$$

$$\sum C \text{ Zeit} = (00:16 - 00:00) + (04:02 - 03:12) + (07:26 - 06:38) + (10:42 - 09:52) + (13:08 - 13:00) = 16 + 50 + 48 + 50 + 8 = 172 \text{ сек}$$

Сумарні втрати метану у зоні «С»:

$$C \text{ Methan}^1 + C \text{ Methan}^2 + C \text{ Methan}^3 + C \text{ Methan}^4 + C \text{ Methan}^5 = \sum C \text{ Methan (m}^3\text{)}$$

$$\sum C \text{ Methan (m}^3\text{)} = (1775,39 - 1775,38) + (1775,97 - 1775,95) + (1776,48 - 1776,46) + (1776,95 - 1776,93) + (1777,39 - 1777,38) = 0,08 \text{ м.куб}$$

За цією методикою розрахунку відсоток втрат метану на третьому режимі в зонах «С» складає:

$$(\sum C \text{ Methan} * 100\%) / \sum V(3) = (0,08 \text{ м.куб} * 100\%) / 2,01 \text{ м.куб} = 3,98 \%$$

Втрати метану у зонах «А»:

Загальний час роботи ПП у зоні «А»:

$$A \text{ Zeit}^1 + A \text{ Zeit}^2 + A \text{ Zeit}^3 + A \text{ Zeit}^4 + A \text{ Zeit}^5 + A \text{ Zeit}^6 + A \text{ Zeit}^7 + A \text{ Zeit}^8 = \sum A \text{ Zeit (sec)}$$

$$\sum A \text{ Zeit} = (00:34 - 00:18) + (03:10 - 02:58) + (04:20 - 04:04) + (06:36 - 06:22) + (07:44 - 07:28) + (09:50 - 09:38) + (11:00 - 10:44) + (12:58 - 12:46) = 114 \text{ сек}$$

Сумарні втрати метану у зоні «А»:

$$A \text{ Methan}^1 + A \text{ Methan}^2 + A \text{ Methan}^3 + A \text{ Methan}^4 + A \text{ Methan}^5 + A \text{ Methan}^6 + A \text{ Methan}^7 + A \text{ Methan}^8 = \sum A \text{ Methan (m}^3\text{)}$$

$$\sum A \text{ Methan} = (1775,43 - 1775,39) + (1775,95 - 1775,93) + (1776,02 - 1775,97) + (1776,45 - 1776,43) + (1776,525 - 1776,48) + (1776,93 - 1776,91) + (1777,00 - 1776,95) + (1777,38 - 1777,36) = 0,26 \text{ m}^3$$

Можливі втрати метану у зоні «А»:

Оцінимо діапазон втрат метану в зонах «А» третього режиму, з урахуванням можливих його викидів у діапазоні від 10% до 40% (мінімальні та максимальні значення):

Methan min (lost) - мінімальне значення можливих втрат метану в зонах «А»:

$$A \text{ Methan min (lost)} = \sum A \text{ Methan} * 10\% = 0,26 \text{ м. куб.} * 10\% = 0,026 \text{ м. куб.}$$

$$(A \text{ Methan min (lost)} * 100\%) / \sum V(3) = (0,026 \text{ м. куб.} * 100\%) / 2,01 \text{ м. куб.} = 1,29 \%$$

A Methan max (lost) - максимальне значення можливих втрат метану в зонах «А»:

$$A \text{ Methan max (lost)} = \sum A \text{ Methan} * 40\% = 0,26 \text{ м. куб.} * 40\% = 0,104 \text{ м. куб.}$$

$$(A \text{ Methan max (lost)} * 100\%) / \sum V(3) = (0,104 \text{ м. куб.} * 100\%) / 2,01 \text{ м.куб} = 5,17 \%$$

Відповідно, можемо припустити, що відсоток втрат метану в перехідних зонах «А» на третьому режимі знаходиться в діапазоні приблизно від **1,29 %** до **5,17 %**.

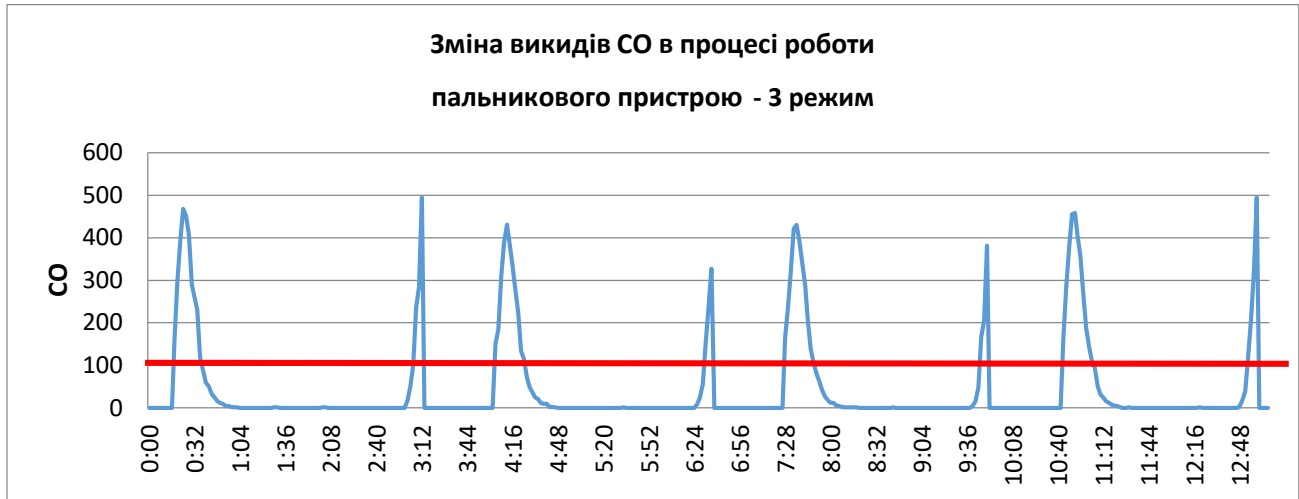
Загальні можливі втрати метану в зонах «А» і «С» за тимчасовий інтервал 13 минут 08 секунд третього режиму знаходяться в діапазоні:

- Мінімальне значення: від $\sum C \text{ Methan} + A \text{ Methan min (lost)} = 0,08 \text{ m}^3 + 0,026 \text{ m}^3 = 0,106 \text{ m}^3$
- Максимальне значення: до $\sum C \text{ Methan} + A \text{ Methan max (lost)} = 0,08 \text{ m}^3 + 0,104 \text{ m}^3 = 0,184 \text{ m}^3$

Відповідно,

- Мінімальне значення: від **3,98 % + 1,29 % = 5,27 %**
- Максимальное значение: до **3,98 % + 5,17 % = 9,15 %**

Викиди чадного газу – CO.



Загальний час викидів CO, що перевищує допустимі норми, третього режиму:
 $(00:36 - 00:18) + (03:12 - 03:06) + (04:24 - 04:04) + (06:36 - 06:32) + (07:48 - 07:28) + (09:50 - 09:46) + (11:04 - 10:44) + (13:00 - 12:54) = \mathbf{98 \text{ секунд}}$

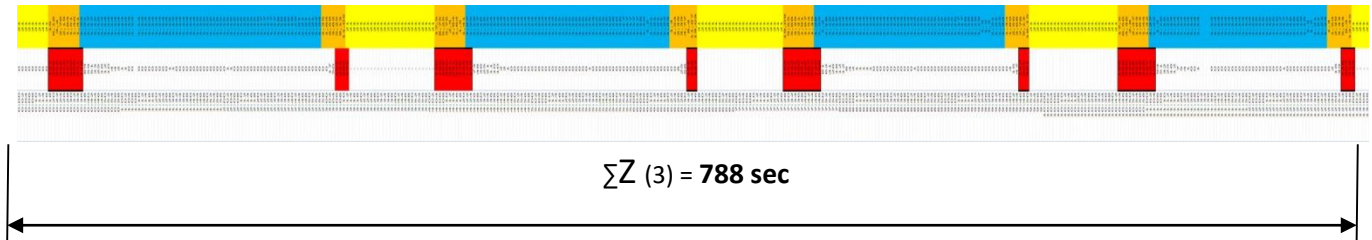
Відсоткове співвідношення часу викидів CO, що перевищують допустимі норми до всього тимчасового інтервалу третього режиму:

$$(98 \text{ секунд} * 100\%) / 788 \text{ секунд} = 12,44 \%$$

На графіці видно, що викиди CO протягом 12,44 % часу роботи пальника в багато разів перевищують гранично допустимі концентрації, прийняті розвинених країн світу.

Екологічність роботи ПП

СХЕМА РОЗПОДІЛУ ЗОН У ЧАСОВОМУ ІНТЕРВАЛІ ТРЕТЬОГО РЕЖИМУ



Зона «С»	Зона без горіння у ПП; незначні втрати метану (парниковий газ)
Зона «А»	Перехідна зона. Максимальні втрати метану від 10% до 40%
Зона «В»	Зона стійкого горіння у ПП. Значення "Lambda" від 1,14 до 1,3.
Зона «СО»	Зона викидів чадного газу (CO), що перевищують допустимі норми.

Визначимо загальний час екологічно чистої роботи печі в часовому інтервалі третього режиму.

Загальний час роботи печі в Зонах "В" (зони стійкого горіння) на третьому режимі:

$$\Sigma B \text{ Zeit} = \Sigma Z (3) - (\Sigma C \text{ Zeit} + \Sigma A \text{ Zeit}) = 788 \text{ sec} - (172 \text{ sec} + 114 \text{ sec}) = 502 \text{ sec}$$

Для визначення загального часу екологічно чистої роботи печі на другому режимі віднімемо від $\Sigma B \text{ Zeit}$, тимчасові відрізки $\Delta CO \text{ Zeit}$ зони викиду CO, що скорочують тимчасовий інтервал зон «В» зі стійким горінням у ПП:

$$\Sigma B \text{ Zeit} - \Sigma \Delta CO \text{ Zeit} = 502 \text{ sec} - 7 \text{ sec} = 495 \text{ sec}$$

$$(495 \text{ секунд} * 100\%) / 788 \text{ секунд} = 62,82 \%$$

Загальний час екологічно чистої роботи печі на третьому режимі по відношенню до тимчасового діапазону вимірювань становить лише **62,82 %**.

Температурна нерівномірність

На третьому режимі різниця температур у робочому об'ємі печі становила 32°C!

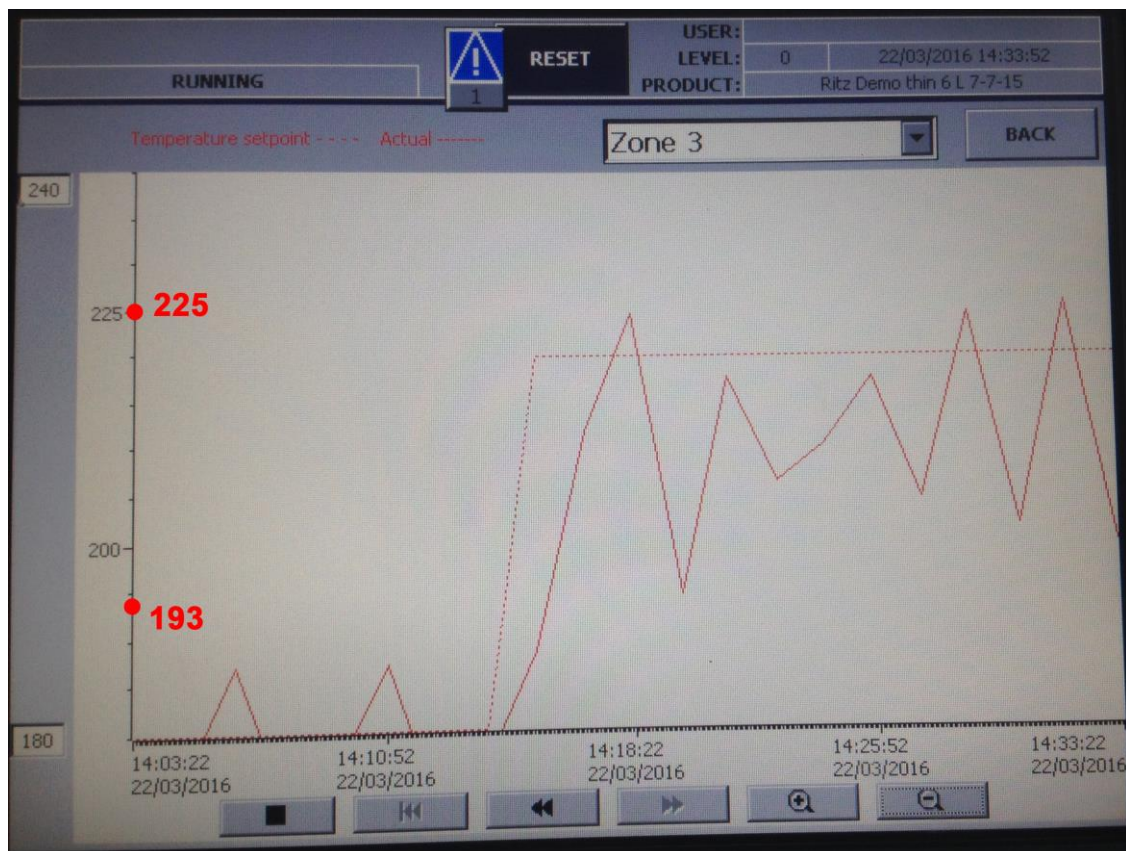
$$\delta = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{max}} * 100\% \quad (1.10)$$

$$225^{\circ}\text{C} - 193^{\circ}\text{C} = 32^{\circ}\text{C}$$

$$32^{\circ}\text{C} / 220^{\circ}\text{C} * 100\% = 14,55 \%$$

Ступень нерівномірності температур становить 14,55 %.

Ця ситуація здатна призвести до порушень технологічного процесу і погіршення якості готової продукції.



3.3 Висновки до розділу 3

Пальник працює в режимі великого горіння протягом контрольованого проміжку часу і потім циклічно перемикається в режим малого горіння або повністю вимикається. Цей цикл повторюється в середньому раз в 2,5 хвилини і проміжок часу, коли пальник працює в режимі "великого" горіння, потім в режимі "малого" горіння або відключена, керується процесорним контролером [9].

Штатний ПП з закрутою потоку окислювача, що здійснює організацію топкового процесу кондитерської низькотемпературної печі, від самого початку не здатен генерувати низькі температури до 300 °С. Даний пальник починає швидко набирати температуру. Досягши максимальної технологічної температури в топковому просторі, автоматика вогнетехнічного об'єкта відключає пальник і включає, коли датчики фіксують мінімально допустиму технологічну температуру. Включення та відключення ПП відбувається з чітким часовим інтервалом. Тобто спостерігається імпульсний режим, при якому ПП, згідно з отриманими та обробленими результатами вимірювань, працює в режимі оптимального навантаження лише 40% вибіркового часового інтервалу.

Решту часу пальник працює або на часткових навантаженнях, що не є для неї економічними, або не працює зовсім. Але під час в інтервалі між погасанням факелу та перекриттям газоподаючого клапану через пальник в атмосферу їде газ, який не підпалюється по причині відсутності факелу.

Виявлено наступні особливості імпульсного режиму роботи ПП та печі в цілому:

- Через вузький діапазон стійкої роботи ПП, при його відключенні та включенні мають місце режими, коли газ подається до ПП в умовах відсутності факела. У разі спостерігається викид чистого метану в атмосферу.
- Враховуючи неможливість підтримки системою автоматики необхідного співвідношення газ-повітря на перехідних режимах, включення та

вимикання ПП (перехід на режим і вихід з режиму) супроводжуються викидами незгорілого метану та викидами чадного газу CO, які значно перевищують міжнародні нормативи. Виникає небезпека загазованості та створення вибухонебезпечної ситуації.

- Мають місце нерівномірність та пульсація температури в топковому просторі, що позначається на якості технологічного процесу.
- Часті включення та вимикання системи регулювання, впливають на надійність роботи елементів регулюючого обладнання ПП.

Одна з головних функцій будь-якої системи керування горіння – це регулювання підведення тепла відповідно до потреб процесу. При імпульсному горінні підведення тепла регулюється модуляцією частоти включення в роботу пальника. Проблемним моментом в роботі даної низькотемпературної печі малої потужності може бути використання пальникового пристрою вихрового типу, що працює в імпульсному режимі. Тому всі перераховані вище проблеми пов'язані в першу чергу з вузьким діапазоном роботи пальникового пристрою з закруткою потоку окислювача, який є недостатнім для організації ефективного топкового процесу в низькотемпературних вогнетехнічних об'єктах малої потужності.

Результати оброблених даних, отриманих при дослідженні роботи кекс-печі на трьох технологічних режимах, систематизовані та представлені у вигляді зведених таблиць (Додаток Г).

РОЗДІЛ 4

ВИБІР ПАЛЬНИКОВОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ КЕКС-ПЕЧІ ФАБРИКИ ХААС-МАЙНКЕ ТА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЙОГО РОБОТИ НА МАШИНІ КМ-14 ВИПАЛУ ВАПНА

4.1 Обґрунтування вибору пального пристрою для кекс-печі фабрики ХААС-МАЙНКЕ

На підставі даних дослідження було проведено наступний розрахунок максимального та передзривного навантажень ПП на третьому режимі (технологічна температура 250 °С) роботи кекс-печі фабрики НААС MEINCKE. Для визначення максимальної і мінімальної витрати газу під час перерахунку на годинну, було взято показання лічильника за максимально відкритого клапана пуску газу і за закриття клапана, відповідного до згасання факелу ПП на кекс-печі (пункт 3.3.3; Розділ 3). Цикл був розбитий на часові відрізки, після чого показання витрати газу за обраний часовий відрізок було поділено на час даного відрізка:

- максимальна витрата газу на третьому режимі у зоні стійкого горіння за часовий діапазон 90 секунд. Показання лічильника газу склали:

$$(1775,48 \text{ м.куб.} - 1775,8 \text{ м.куб.}) = 0,32 \text{ м.куб.}$$

Так як 90 секунд дорівнює 0,025 години, маємо наступну витрату:

$$0,32 \text{ м. куб.} / 0,025 \text{ год} = 12,8 \text{ м.куб./год};$$

- мінімальна (передзривна) витрата газу на третьому режимі в перехідній зоні за часовий діапазон 4 секунди. Показання лічильника газу склали:

$$(1775,95 \text{ м.куб.} - 1775,94 \text{ м.куб.}) = 0,01 \text{ м.куб.}$$

Так як 4 секунди дорівнюють 0,00111 години, маємо наступну витрату:

$$0,01 \text{ м. куб.} / 0,00111 \text{ год} = 9 \text{ м.куб./год};$$

З наведених розрахунків можна дійти висновку, що цей ПП не відповідає своїм паспортним даним: заявлена мінімальна паспортна потужність ПП - 35 кВт відповідає витраті газу приблизно 3,5 м.куб/год.

При виборі альтернативного ПП для кекс-печі, було взято до уваги такі

обставини:

1. Технологічний процес цієї печі вимагає ПП з максимально широким діапазоном сталої роботи;

2. У лабораторії горіння кафедри ТАЕ Навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» створено струменево-нішеву технологію спалювання палива;

3. Спроектовані ПП на основі струменево-нішевої технології спалювання палива мають досить широкий діапазон стійкої роботи з коефіцієнтом регулювання більше 10, про що свідчить досвід експлуатації цих пальників на вогнетехнічних об'єктах національної економіки України (рис.4.1).

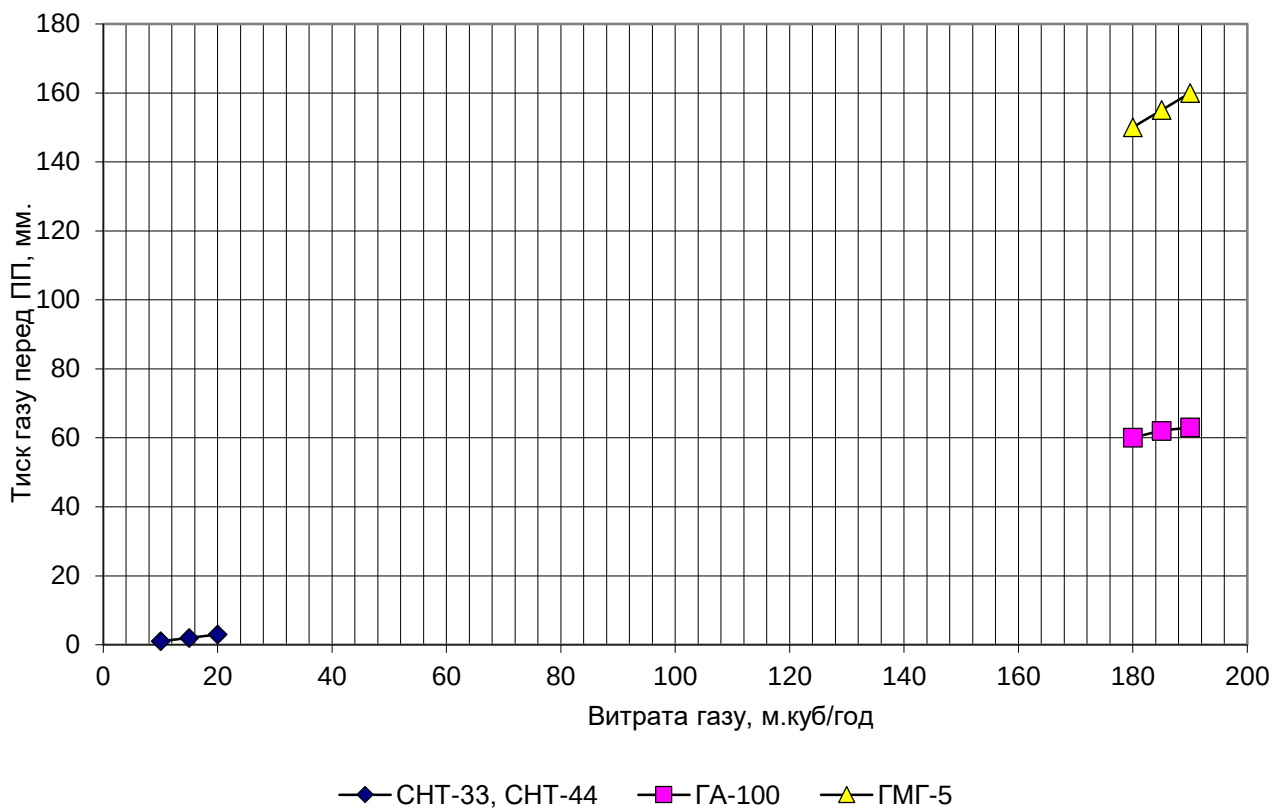


Рис. 4.1 Витрата та тиск газу при запуску вогнетехнічних об'єктів з різними пальниковими пристроями

У процесі роботи над створенням нового пальника була розглянута можливість заміни існуючого ПП на еквівалентний за потужністю, реалізуючий струменево-нішеву технологію та створений на основі базового модуля СНТ, з діаметром газових отворів 3 мм.

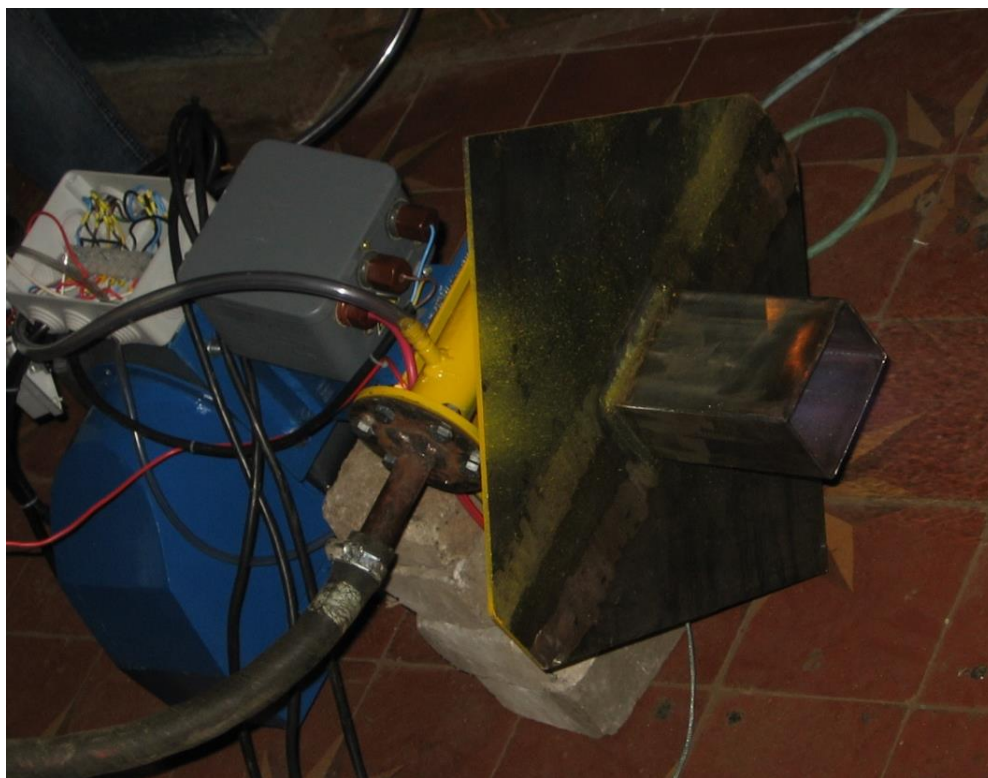


Рис. 4. 1 Експериментальний стенд для перевірки діапазону робочого регулювання пальника СНТ-11

Враховуючи, що пальники такої потужності і таких розмірів раніше не було застосовано ніде, для контрольної перевірки можливості їх роботи та надання результатів перевірки Замовнику, було створено експериментальний стенд, на якому було протестована можливість роботи ПП на базі пальникового модулю 80x80 мм и діаметром отворів 3 мм та перевірено його діапазон стійкої роботи (фотографія стенду з ПП СНТ-11 представлена на рисунку 4.1). Схема даного стенду представлена на рисунку 4.2.

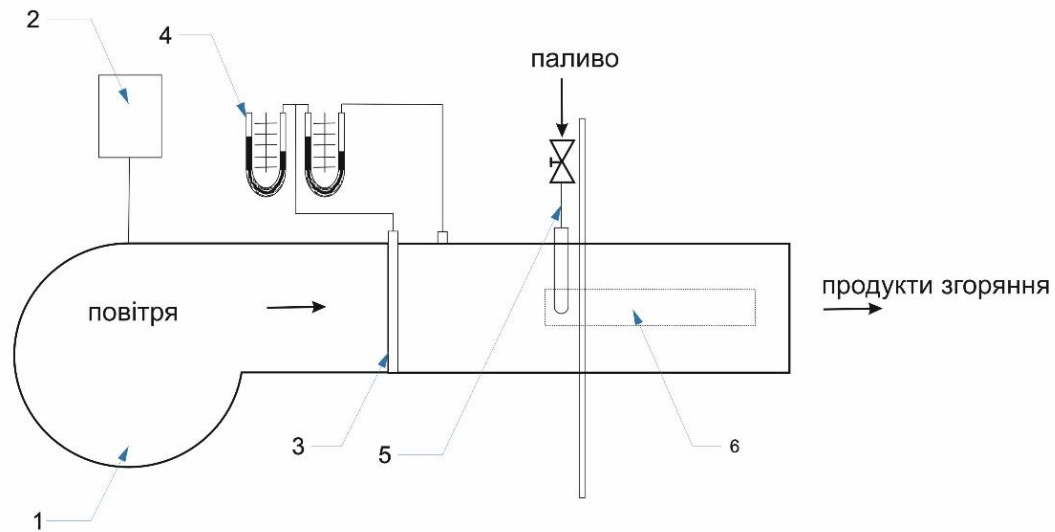


Рис 4.2 Схема експериментального стенду для перевірки діапазону робочого регулювання пальника СНТ-11

1 – вентилятор; 2 – пристрій частотного регулювання обертів вентилятора; 3 – інтегральна трубка Піто; 4 – блок манометрів; 5 – подача палива; 6 –струменево-нішевий модуль.

Метою випробувань було визначення діапазону сталої роботи ПП СНТ-11. У процесі випробувань фіксувалися тиск газу та повітря за якими і оцінювався діапазон сталої роботи ПП СНТ-11.

Враховуючи, що дані характеристики такого базового модуля у впроваджувальних роботах лабораторії горіння та НВП СНТ (яке займається впровадженням струменево-нішевої технології в широкому спектрі галузей національної економіки України) не були затребувані через свою малу потужність, було задіяна можливість апробувати ПП СНТ-11, що є базовим модулем СНТ, у реальних промислових умовах - на об'єкті піч випалу вапна КМ-14, наданому агрофабрикою ММК «Завод імені Ілліча» (м. Маріуполь).

4.2 Призначення та конструкція машин КМ-14 аглофабрики ММК ім. Ілліча

Об'єкт для випробування є машиною випалу доломіту та вапняку. Паралельно із вирішенням завдань для австрійської компанії HAAS FOOD EQUIPMENT GmbH, була необхідність виконати усі вимоги технічного завдання наданого керівництвом аглофабрики ММК ім. Ілліча щодо модернізації КМ-14, головною метою якої було зниження споживання природного газу без втрати якості кінцевого продукту.

Вапно, одержуване шляхом випалу суміші вапняків, є інтенсифікатором агломераційного процесу. За рахунок вапна відбувається підсушування концентрату, що покращує його дозування в дозувальному відділенні, крім того, вапно створює додаткові умови для оздоблення концентрату, тим самим покращуючи газопроникність шихти, знешкоджуючи високу продуктивність агломашин. Наявність вапна в шихті знижує витрату тепла на процес агломерації і, відповідно, витрату твердого палива. Якісні показники вапна для агломераційного виробництва: оксиди кальцію і магнію ($\text{CaO} + \text{MgO}$), не менше 73,00 оксид магнію (MgO), не більше 9,00 діоксид кремнію (SiO_2), не більше 4,00 втрати під час прожарювання, не більше 11,00 вміст горючого вуглецю (C), не більше 0,90 крупність понад 10 мм, не більше 10,00. Шихта для виробництва вапна є сумішшю вапняків і коксового дріб'язку в масовому співвідношенні, що змінюється залежно від технологічних потреб; вапняків 82-90% і 10-18% коксового дріб'язку. Величина суміші вапняків, що входять до складу шихти для випалу, повинна бути в межах 5-12мм. Крупність коксової дрібниці для випалу вапняків має становити 0-6мм. Дозування компонентів шихти для випалу здійснюється на конвеєрах ПШ-11 та ПШ-35 в режимі автоматичного регулювання співвідношення вапняк:паливо.

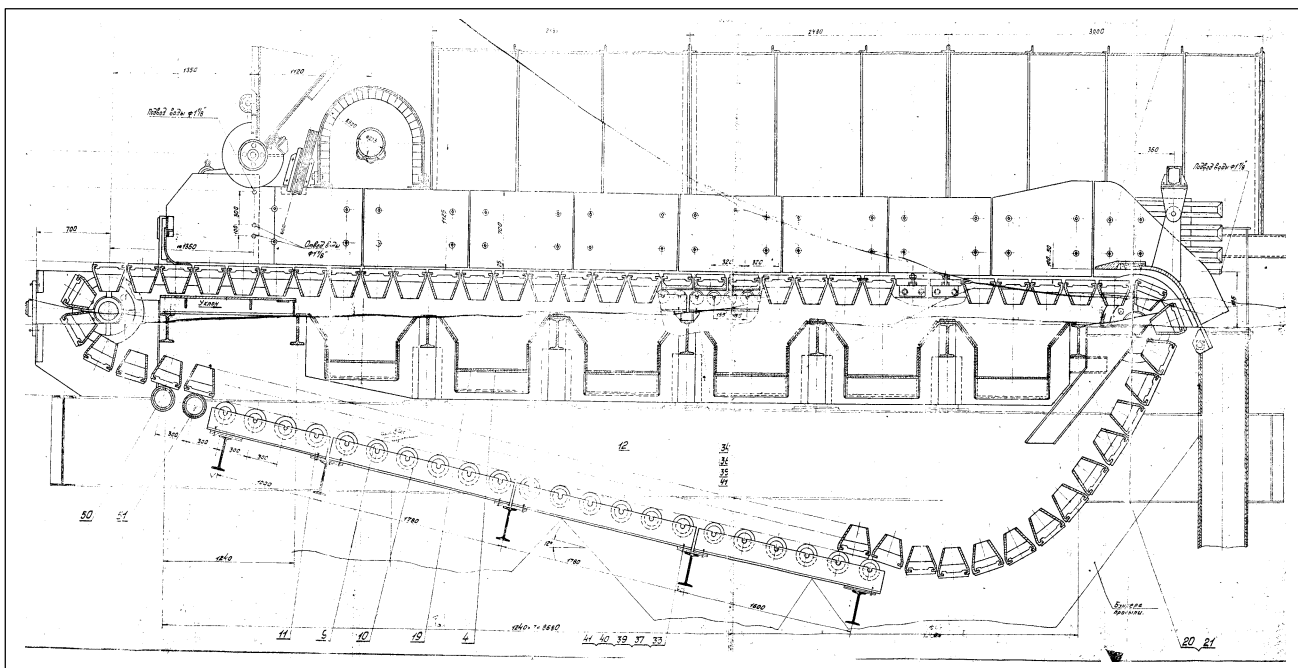


Рис. 4.3 Схема машини КМ-14.

Конвеєрна обпалювальна машина КМ-14 являє собою колосникові ґрати, що складається з 72 палет з'єднаних ланцюгами і пересувається на опорних і підтримуючих роликах. Завантаження шихти на палети здійснюється насипом на палети із завантажувального бункера. Запалювання шихти проводиться водоохолоджуванім горном з ежекційним пальником, що працює на природному газі. Температура у горні підтримується лише на рівні 1100 °С; не нижче 950 °С. Тиск природного газу надходить у горн має бути не менше 100мм.вод.ст. Зниження температури не допустиме, оскільки при цьому можливе припинення горіння природного газу з утворенням вибухонебезпечної суміші. Витрата природного газу на горн має становити 240-260 м.куб./год, витрата повітря 2800-3000 м.куб./год. Випалення проводиться при розрядженні в колекторі спікання в межах 380-400 мм.вод.ст. Швидкість руху палетів випалювальної машини в залежності від якості випалу, висоти шару та якості шихти змінюється в межах 0,15-0,45 м/хв. Гаряче вапно у хвостовій частині машини зсипається з палет через течки на пластинчастий конвеєр і подається на бункер-накопичувач або прямо з машин на конвеєра ОІ-3,4.2.

4.3 Модернізація машини КМ-14 на основі струменево-нішевої технології

Як ПП на машині КМ-14 застосовується ПП напівпопереднього змішування (рис. 4.4).



Рис. 4.4 Робота штатного пальника машини КМ-14

Недоліком цього пальника є те, що воно розташоване під склепінням горна на висоті шихти приблизно 1 метр. А також те, що струмені напівпопередньої повітряної суміші виходять з отворів, розташованих перпендикулярно до напрямку руху шихти з високою швидкістю. В результаті чого паливо не встигає згоряти в струменях, які вдаряючись об поверхню шихти, відкидають незгорілу частину палива під склепіння горна, де і відбувається догоряння основної кількості палива. Враховуючи, що інтенсивність променистого теплообміну зворотно пропорційна квадрату відстані до об'єкта, що нагрівається, то інтенсивність променистого теплообміну істотно падає. Нагріті гази активно змішуються з повітрям, що засмоктується в горн ексгаустером. Внаслідок чого їх температура суттєво знижується, і тепловіддача від продуктів згоряння у шихті значно падає.

Було запропоновано наступний підхід до модернізації цієї машини. Враховуючи вищеописані обставини, слід було:

1. Знизити довжину факелу пальника;
2. Зменшити відстань від ядра факелу до шихти;
3. Зменшити висоту горна.

Для вирішення третього завдання було спроектовано новий горн, який раніше не використовувався у подібних машинах. Як пальники були прийняті ПП на основі базового модуля СНТ, довжина факела яких була істотно нижчою за довжину факела існуючого пальника за рахунок унікальних властивостей струменево-нішевої технології. А саме:

1. Рівномірний розподіл палива у потоці окислювача;
2. Можливості роботи на оптимальних коефіцієнтах надлишку повітря;
3. Суттєво менші геометричні розміри, ніж у існуючого ПП, що дозволяло здійснити оптимальне компонування їх у новому горні.

На рисунках 4.5 – 4.8 показано роботу модернізованого горна на різних витратах палива



Рис 4.5 Робота пальникових пристроїв СНТ-11 після модернізації машини КМ-14



Рис. 4.6 Робота печі КМ-14 на витраті палива 120 м.куб/год.



Рис. 4.7 Робота печі КМ-14 на витраті палива 230 м.куб/год.



Рис. 4.8 Робота печі КМ-14 на витраті палива 6 м.куб/год.;
1 м.куб/год на один ПП СНТ-11

На рисунку 4.9 представлена схема модернізованого горна машини КМ-14.

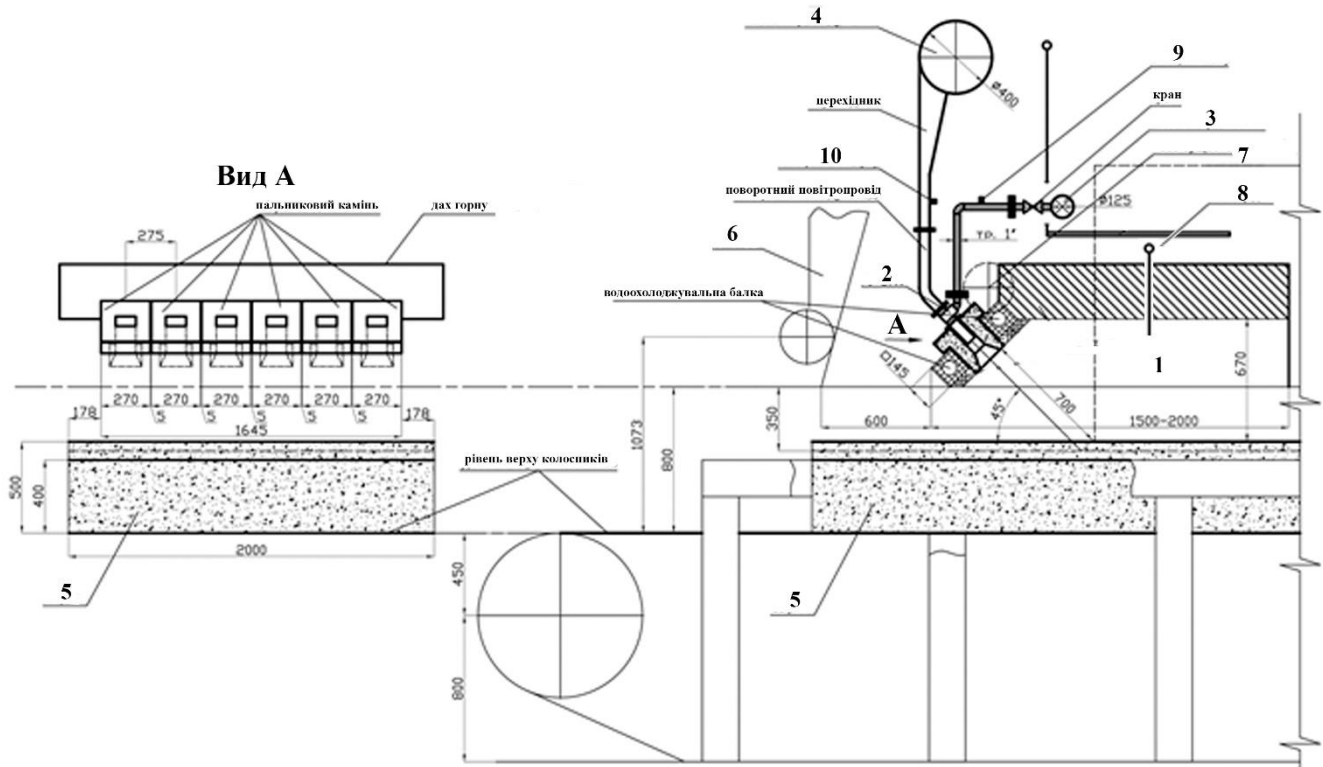


Рис. 4.9 Схема машини випалення вапна КМ-14

1. Топка; 2. Пальниковий пристрій СНТ-11; 3. Підведення газу; 4. Підведення повітря; 5. Рухома стрічка; 6. Завантажувально-розподільний механізм; 7. Експаустер; 8. Вікно для виміру температури пірометра; 9. Датчик тиску газу перед пальником; 10. Датчик тиску повітря перед пальником.

Як видно зі схеми, висота нового горна склала 700 мм, порівняно з 1500 мм у старого. Відстань від осі ПП до поверхні шихти склала 500 мм у порівнянні з 1000 мм штатного пальника.

Головним завданням випробувань було забезпечити температуру лінії підпалу не менше 1000 °С за менших витрат газу (по ТЗ 15%). Випробування проводилися на кількох режимах витрати газу, починаючи з 210 м. куб./год і далі зменшення

витрати газу через кожні 20 м. куб.. Під час випробувань вимірювалось:

- Витрата газу на пальнику;
- Температура шихти у зоні підпалу;
- Температура стін горна;
- Витрата повітря;
- Тиск повітря;
- Розрідження в екстаустері
- Швидкість стрічки

В рамках дисертаційної роботи, нас цікавили витратні характеристики та діапазон сталої роботи ПП у реальних промислових умовах.

В результаті обробки результатів випробувань було побудовано витратну характеристику ПП СНТ-11 «тиск - витрата» згідно з даними зображеними на фото мнемосхеми (рис. 4.10; рис. 4.11; рис. 4.12) зафіксованих на необхідних режимах роботи і далі було побудовано витратну характеристику одиничного ПП.

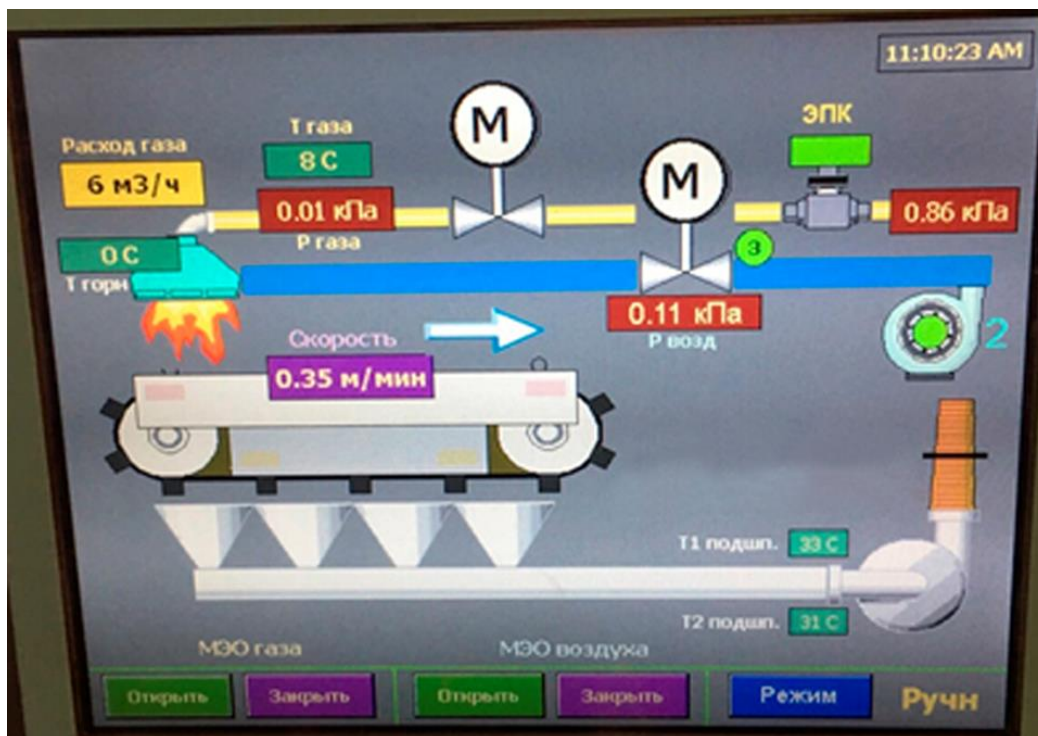


Рис. 4.10 Робота ПП СНТ-11 при витраті газу 6 м.куб/год



Рис. 4.11 Работа ПП СHT-11 при витраті газу 120 м.куб/год

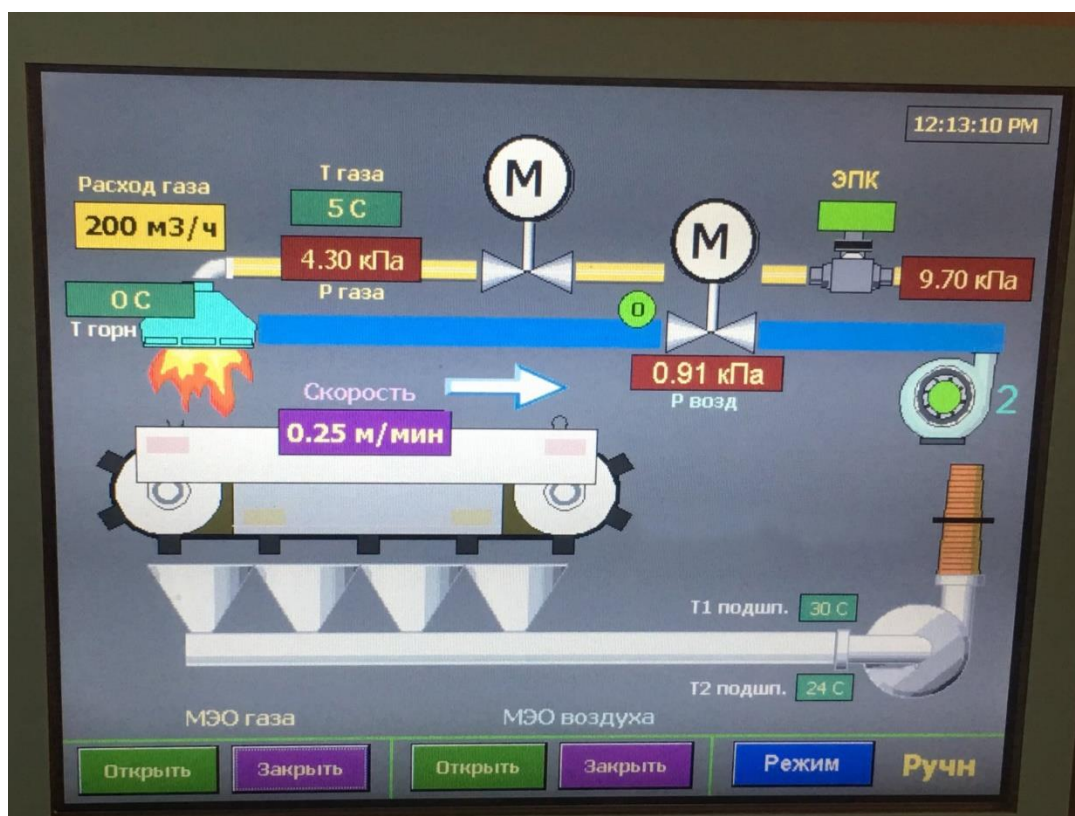


Рис. 4.12 Работа ПП СHT-11 при витраті газу 200 м.куб/год

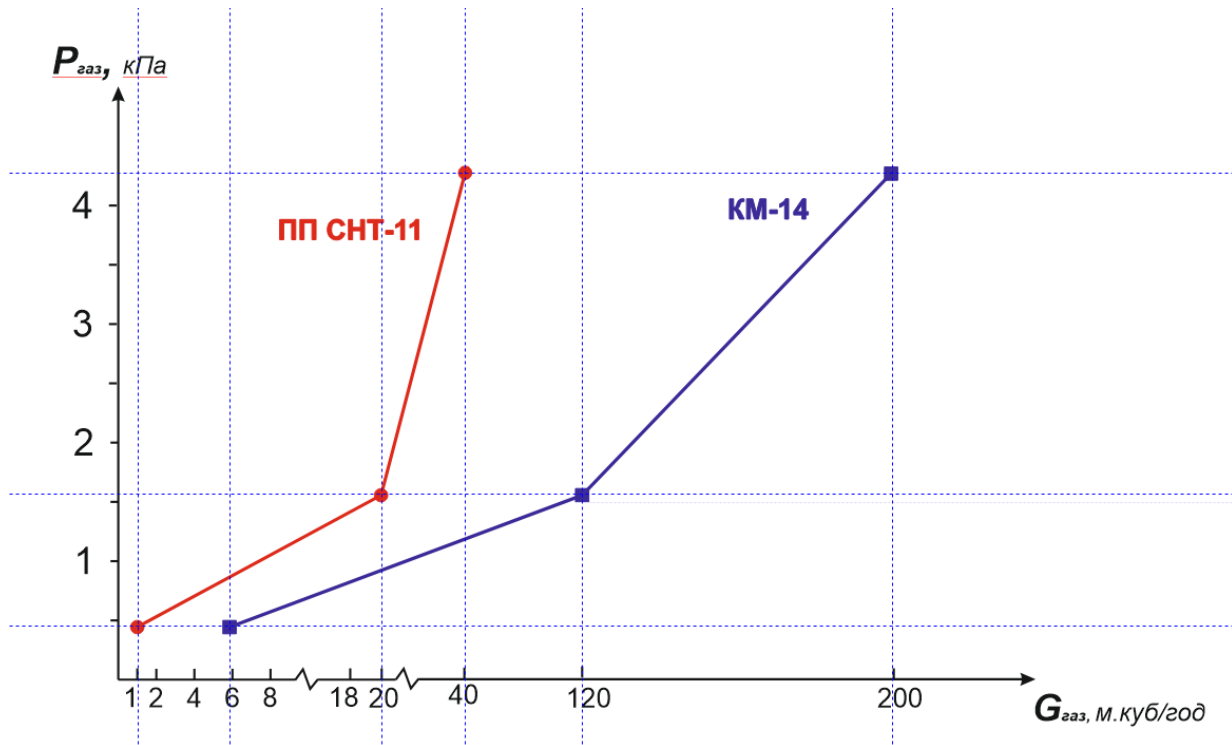


Рис. 4.13 Витратна характеристика одиничного ПП СНТ-11

Зважаючи на складність у проведенні газового аналізу на такому типі ВО (велике запилення, розведення газів зовнішнім та ін.), оптимального коефіцієнта надлишку повітря проводилось за показаннями приладів та коригуванням температури запального шару, яка визначалась оптичним пірометром.

Паралельно лабораторією ММК "ім. Ілліча" проводився аналіз якості готової продукції.

В результаті проведених досліджень та аналізу отриманих даних було визначено оптимальну витрату газу на машині KM-14, при якому температура в зоні підпалу та якість отриманого матеріалу відповідала технічному завданню. Мінімальна витрата газу, за якої виконувались умови ТЗ, було визначено як 125 м.куб/год. Це вдвічі нижче, ніж витрати даної машини до модернізації; та вдвічі нижче ніж паспортні дані витрат машин KM-14 загалом.

4.4 Вивчення робочого процесу ПП СНТ 11 встановленого на машині КМ-14

Паралельно з вищезазначеними дослідженнями, проводилися випробування щодо діапазонів стійкої роботи пальника СНТ-11 (базовий модуль СНТ). Для чого 6 ПП СНТ-11, встановлених на машині КМ-14, працювали на витратах газу, починаючи з 250 м куб/год і до витрати 6 м куб/год при різних коефіцієнтах надлишку повітря. При цьому проводилися виміри витрат та тиску газу, та повітря з зоровою фіксацією наявності факела. В результаті обробки результатів випробувань побудовано витратну характеристику ПП СНТ-11 (рис. 4.13), згідно якого видно, що діапазон стійкої роботи одиничного ПП СНТ-11 становить від 1 м.куб/год до 40 м. куб/год.

4.5 Аналіз отриманих результатів

Для того щоб підібрати ПП необхідно розрахувати максимальні та мінімальні можливі витрати існуючого ПП (необхідну потужність). Для цього в результаті обробки отриманих даних Розділу 3 було встановлено максимальну і мінімальну витрату пальникового пристрою в перерахунку на годину. Для визначення максимальної та мінімальної витрати газу при перерахунку на годину, були взяті показання лічильника при максимально відкритому клапані пуску газу та при закритті клапана відповідного згасання факела ПП. Цикл був розбитий на тимчасові відрізки, після чого витрата газу за обраний тимчасовий відрізок був поділений на цей відрізок.

Для розрахунку можливої ефективності побудуємо дві порівняльні циклограми: штатного пальника кекс-печі та ПП СНТ-11. На підставі отриманих результатів розглянемо циклограму основного тимчасового циклу роботи кекс машини (рис. 4.14) та порівняємо її з можливою циклограмою роботи кекс машин при її модернізації на основі струменево-нішевої технології (рис. 4.15).

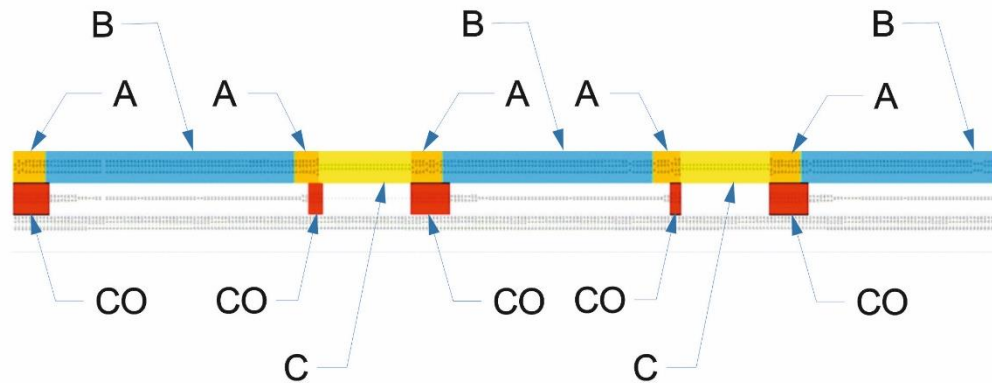


Рис. 4.14 Циклограма роботи штатного ПП кекс-печі у певному часовому інтервалі, де перехідні зони А – зони де відбуваються максимальні втрати метану від 10% до 40%; зони В – зони стійкого горіння у ПП; зони С – зони без горіння та зони СО – зони викидів чадного газу (СО), що декілька разів перевищує допустіми норми.

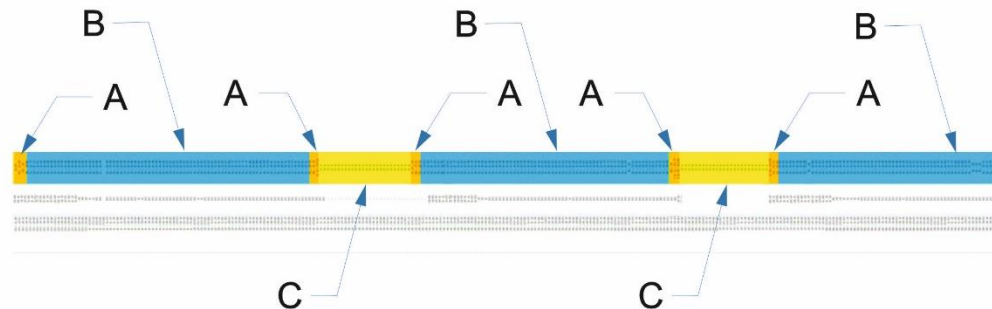


Рис. 4.15 Можлива циклограма роботи кекс машин при її модернізації на основі струменево-нішевої технології, де перехідні зони А – зони де відбуваються незначні втрати метану; зони В – зони стійкого горіння у ПП; зони С – зони без горіння та зони СО повністю відсутні.

Як приклад наведемо наступний розрахунок:

- максимальна витрата газу на 3 режимі в зоні стійкого горіння за часовий діапазон 90 секунд. Показання лічильника газу склали: (1775,48 м.куб. - 1775,8 м.куб.) = 0,32 м.куб. Так як 90 секунд = 0,025 години, маємо наступну витрату:

$$0,32 \text{ м. куб.} / 0,025 \text{ год} = 12,8 \text{ м.куб./год};$$

- мінімальної витрати газу на 3 режимі у перехідній зоні за часовий діапазон 4 секунди. Показання лічильника газу склали: (1775,95 м.куб. - 1775,94 м.куб.) = 0,01 м.куб. Так як 4 секунди = 0,00111 години, маємо наступну витрату:

$$0,01 \text{ м. куб.} / 0,00111 \text{ год} = 9 \text{ м.куб./год};$$

В результаті проведеного дослідження ми прийшли до висновку, що діапазон витрат газу пального пристрою для кекс-печі на данській фабриці НААС MEINCKE повинен бути від 9 м.куб/год до 12,8 м.куб/год.

Отже, умовна годинна витрата штатного ПП при зриві становить 9 м/куб/год. В результаті отриманих експериментальних даних витрати 1 м.куб/год (зривна витрата ПП СНТ-11) відповідає діапазон на тимчасовій шкалі між погасанням ПП та закриттям клапана рівний трьом секундам. Час між погасанням штатного пальника та закриттям клапана становить 28 секунд. Різниця або діапазон згасання дорівнює 25 секунд. Приблизно такий же часовий діапазон спостерігатиметься і при циклічному розпалюванні ПП.

Витрата газу за 25 секунд, згідно з лічильником газу, склала приблизно 0,01 м.куб. Ця витрата і є економія газу, який у разі роботи штатного ПП кекс-печі не згоряючи йде в атмосферу, а у разі роботи ПП СНТ буде використано за призначенням. Такий самий процес матиме місце і при циклічному розпалюванні ПП. Економія становитиме: при згасанні – 1,23 м.куб/год і при розпалюванні також – 1,23 м.куб/год. Що до номіналу штатного ПП кекс-печі при витраті в 12,5 м.куб/год складе приблизно до 20% економії палива.

4.6 Висновки до розділу 4

В результаті проведеної роботи були вперше експериментально отримані дані по роботі базового модуля (на момент експерименту мінімальний розмір ПП, що реалізує струменево-нішеву технологію) на промисловому обладнанні, що реально працює.

Вперше було здійснено модернізацію машини КМ-14 з повною заміною горна та встановлення на ньому замість одного штатного пальника шести пальничних пристроїв СНТ-11. Внаслідок якої було отримано економічний ефект 50%. Лист від агрофабрики ММК ім. Ілліча (м. Маріуполь) дивиться в Додатку Д. В Додатку Е знаходиться Акт, що підтверджує впровадження результатів роботи.

В результаті випробувань визначено діапазон стійкої роботи ПП та проведено порівняння його зі штатним пальниковим пристроєм печі для випікання кексів на данській фабриці HAAS MEINCKE.

Проведено аналіз ефективності можливої модернізації печі випічки кексів при можливій модернізації печі із заміною штатного пальника на ПП СНТ-11. Розраховано результати передбачуваної модернізації.

Отримані матеріали відносно розробленого нами пальника, що відповідав усім вимогам робочого процесу кондитерської кекс-печі, були прийняті та схвалені керівництвом компанії «HAAS FOOD EQUIPMENT GmbH», згідно реферції (Додаток Ж) в якій сказано: «Компанія СНТ в особі пана Абдуліна Михайла, Дворцина Геннадія та Бетіна Юрія за дорученням компанії «HAAS FOOD EQUIPMENT GmbH» проводила дослідження ефективності роботи промислових кондитерських печей на фабриках Данії та Австрії.

В результаті проведених досліджень від компанії СНТ отримано відповідні звіти та рекомендації, які надалі були використані для покращення виробничого процесу.».

РОЗДІЛ 5

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПЕЧЕЙ ПО ВИГОТОВЛЕННЮ ВАФЕЛЬНОГО ЛИСТА ФАБРИКИ НААС (М. ВІДЕНЬ; АВСТРІЯ) ТА ФАБРИКИ ДОМІНІК (М. ПОЛТАВА; УКРАЇНА)

5.1 Конструкція печей та опис робочого процесу



Рис. 5.1



Рис. 5.2

На малюнках представлені низькотемпературні печі з випікання вафельного листа турецького виробника GOCMEN (рис. 5.1) та піч австрійсько-швейцарської компанії BÜHLER-HAAS (рис.5.2). Топковий процес у цих печах організований з використанням мікрофакельної технології спалювання газу.

Випікання вафельних листів здійснюється у печах між двома масивними металевими плитами. При цьому шар тесту безпосередньо контактує з поверхнями, що обігріваються. Такий спосіб випікання називають контактним. Формування тіста відбувається безпосередньо на поверхні плити, що обігрівається. Поверхня плит, що заповнюється тестом, може бути гладкою, гравірованою або фігурною. Залежно від цього вафельні листи можна отримати з гладкою або гофрованою поверхнею або фігурами різної форми. Кожна форма має на своїх осях чотири ролики, на яких вона рухається вздовж напрямних. Форми з'єднані між собою сережками та утворюють безперервний ланцюг. Краї форм щільно притиснуті одна до іншої, а по їхньому периметру розташований ряд заглиблень для видалення вологи та надлишку тіста. У процесі випікання видаляється з тіста значна кількість вологи (180 % до маси сухої речовини). Внаслідок невеликої товщини листів та значної поверхні випарювання у

вафельних формах процес випікання триває лише 2 хв. Процес ведуть при температурі поверхні плит 170°C (за 30-40 хв до початку роботи піч включають на холостий хід і запалюють газові пальники).

Завдяки великій поверхні плит та малій товщині тіста (2 - 3 мм) на них, його температура за лічені секунди перевищує 100°C . Волога в тесті миттєво перетворюється на пару. Виникає значний градієнт тиску пари, який і визначає характер вологовіддачі. При випіканні вафельного тіста немає періоду постійної швидкості видалення вологи, а стадія прогрівання тесту дуже незначна. Найбільш інтенсивний масообмін у контактному шарі спостерігається на початку випічки з поступовим зниженням швидкості вологовіддачі.

Інтенсивне пароутворення в тесті при його випіканні визначає пористість вафельних листів. Роль хімічних розпушувачів у цьому процесі незначна.

За час повного обороту ланцюгового конвеєра вафельні листи випікаються, верхня плита форми автоматично відокремлюється від нижньої і лист витягується з форми. Перед автоматичним відкриттям форми з випеченим вафельним листом роблять очищення її боків від набряків. Вафельний лист, що має форму прямокутного листа, обережно відокремлюють ножом від форми. Знімання листів може здійснюватися автоматично, спеціально пружною платівкою.

5.2 Дослідження впливу довжини факелів існуючих газових форсунок на елементи конструкції печі

Мікрофакельна технологія спалювання газу на досліджуваних низькотемпературних печах для випікання вафельного листа була реалізована за допомогою наступних видів пальників: турецька піч GOCMEN - 3600 газових форсунок (рис.5.3); - понад 100 пальникових пристроїв, спроектованих голландськими інженерами, на австрійській печі HAAS (рис.5.4).

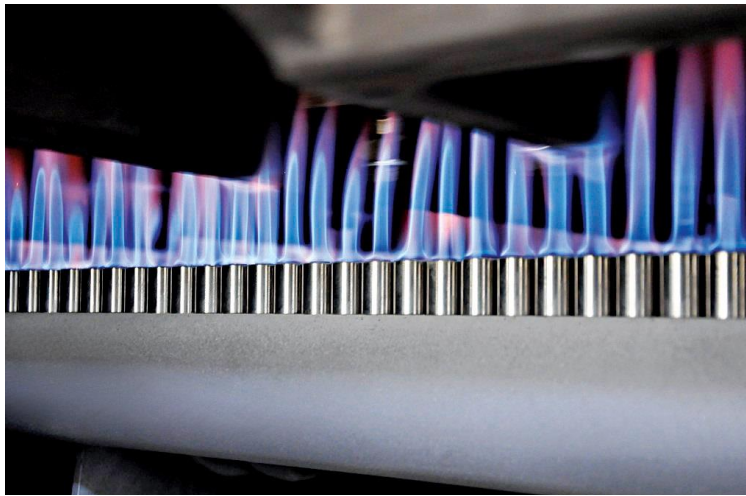


Рис. 5.3 Пальникові пристрої печі GOCMEN



Рис. 5.4 Пальникові пристрої печі HAAS

При дослідженні печі GOCMEN на фабриці Домінік були проведені такі вимірювання:

- Теплове навантаження печі (витрата газу);
- Аналіз складу продуктів згоряння на виході із печі (рис. 5.5);
- Тиск газу в магістралі;
- Температура поверхні вафельниці.

Крім того, досліджувалась довжина факелів мікровафельних пальників, їх стан та їх вплив на елементи конструкції печі. Під час проведення випробувань керівництвом фабрики Домінік була представлена режимна карта роботи печі (рис. 5.6).

testo 330-1LL	
V2.05	01487997/GUS

GOSMEN_GAZOVAYA	
СТАРТ: 17.11.19 12:29:05	

202.0	°C темп. дым. г
1	% CO2
16	Альфа
16	% КИСЛОРОД
56	ППМ СО

10.2	Па тяга

10.2	°C окрж. темп.

14	ППМ АСО
29	ППМ NO
60	ППМ NOx
60	МГМЗ NOx
900	МГМЗ СО

топливо: природн. газ	
O2 норм.: 0.0%	
CO2 макс: 11.9%	
ТТН: ----- °C	

а)

testo 330-1LL	
V2.05	01487997/GUS

GOSMEN_GAZOVAYA	
СТАРТ: 17.11.19 12:59:25	

215.0	°C темп. дым. г
1.15	% CO2
14	Альфа
14	% КИСЛОРОД
71	ППМ СО

10.2	Па тяга

10.2	°C окрж. темп.

15	ППМ АСО
30	ППМ NO
62	ППМ NOx
62	МГМЗ NOx
994	МГМЗ СО

топливо: природн. газ	
O2 норм.: 0.0%	
CO2 макс: 11.9%	
ТТН: ----- °C	

б)

testo 330-1LL	
V2.05	01487997/GUS

GOSMEN_GAZOVAYA	
СТАРТ: 17.11.19 13:58:11	

225.0	°C темп. дым. г
1.23	% CO2
13	Альфа
13	% КИСЛОРОД
87	ППМ СО

10.2	Па тяга

10.2	°C окрж. темп.

17	ППМ АСО
33	ППМ NO
68	ППМ NOx
68	МГМЗ NOx
1130	МГМЗ СО

топливо: природн. газ	
O2 норм.: 0.0%	
CO2 макс: 11.9%	
ТТН: ----- °C	

в)

Рис. 5.5 Состав продуктов згорания на выходе из печи.
а) Первый режим; б) Второй режим; в) Третий режим

РЕЖИМНА КАРТА ПЕЧІ

Gosmen

ПАТ «ПОЛТАВАКОНДИТЕР» м.Полтава, вул. М.Бірюзова, 2.

Паливо: спаленні природного газу з теплою згорання: 8317 ккал/м³

№ п/п	Найменування показників	Розмір-ність	Режими роботи			
			1	2	3	
2		3	4	5	6	
1	Кут газової заслонки перед пальником	низ	град	20	25	29
		верх	град	24	29	34
2	Кут заслонки газового вентилятору	низ	град	19	28	34
		верх	град	16	22	29
3	Теплопродуктивність печі	Гкал/год	0,274	0,416	0,516	
4	Витрати газу (при н.у.)	м³/год	51	76	93	
5	Температура в зоні печі	°C	згідно технологічного регламенту			
6	Швидкість обертання пресів		згідно технологічного регламенту			
7	Продуктивність печі		згідно технологічного регламенту			
8	Вміст за котлом (в сухих ВГ):					
	- діоксид вуглецю	%	2,8	3,1	3,5	
	- вільного кисню	%	16,1	15,5	14,9	
	- окислу вуглецю	мг/м³	24	28	33	
9	Вміст у відхідних газах					
	при нормальних умовах та $\alpha=1$:					
	- окислу вуглецю	мг/м³	112	115	123	
	- окислів азоту	мг/м³	203	198	209	
10	Коефіцієнт надлишку повітря	-	3,94	3,52	3,19	
11	Температура відхідних газів	°C	201	226	249	
12	ККД печі	%	64,66	65,74	66,74	
13	Масові викиди в атмосферу:					
	- окислу вуглецю	г/с	0,0139	0,0214	0,0279	
14	Питомі викиди в атмосферу забруднюючих речовин:					
	1) на 1 Гкал виробленого тепла					
15	- окислу вуглецю	г/Гкал	182,6	149,1	194,5	
	- окислів азоту	г/Гкал	330,9	255,7	331,3	
16	2) на 1 м³ спаленого газу:					
	- окислу вуглецю	г/м³	0,98	1,01	1,08	
17	- окислів азоту	г/м³	1,78	1,74	1,84	
	Питома норма витрат умовного палива на вироблення 1 Гкал тепла	кг у.п.	220,95	217,29	214,05	

Служба інженер-наладчик

Примітка С.Р.

Рис. 5.6 Режимна карта печі GOSMEN

Проте реальні виміри показали таке:

1. Витрата газу на номінальному режимі склала 90 м.кб./год.
2. Тиск газу на номінальному режимі 480 мм.вод.ст.;
3. Коефіцієнт надлишку повітря у печі 16;
4. Вміст СО у газах, що відходять 1015 мг/м.куб.;
5. Температура на зовнішній поверхні вафельниці 270°C.
6. Коефіцієнт надлишку повітря поблизу поверхні вафельниці 12 за розрахунковою діаграмою (рис. 5.7)

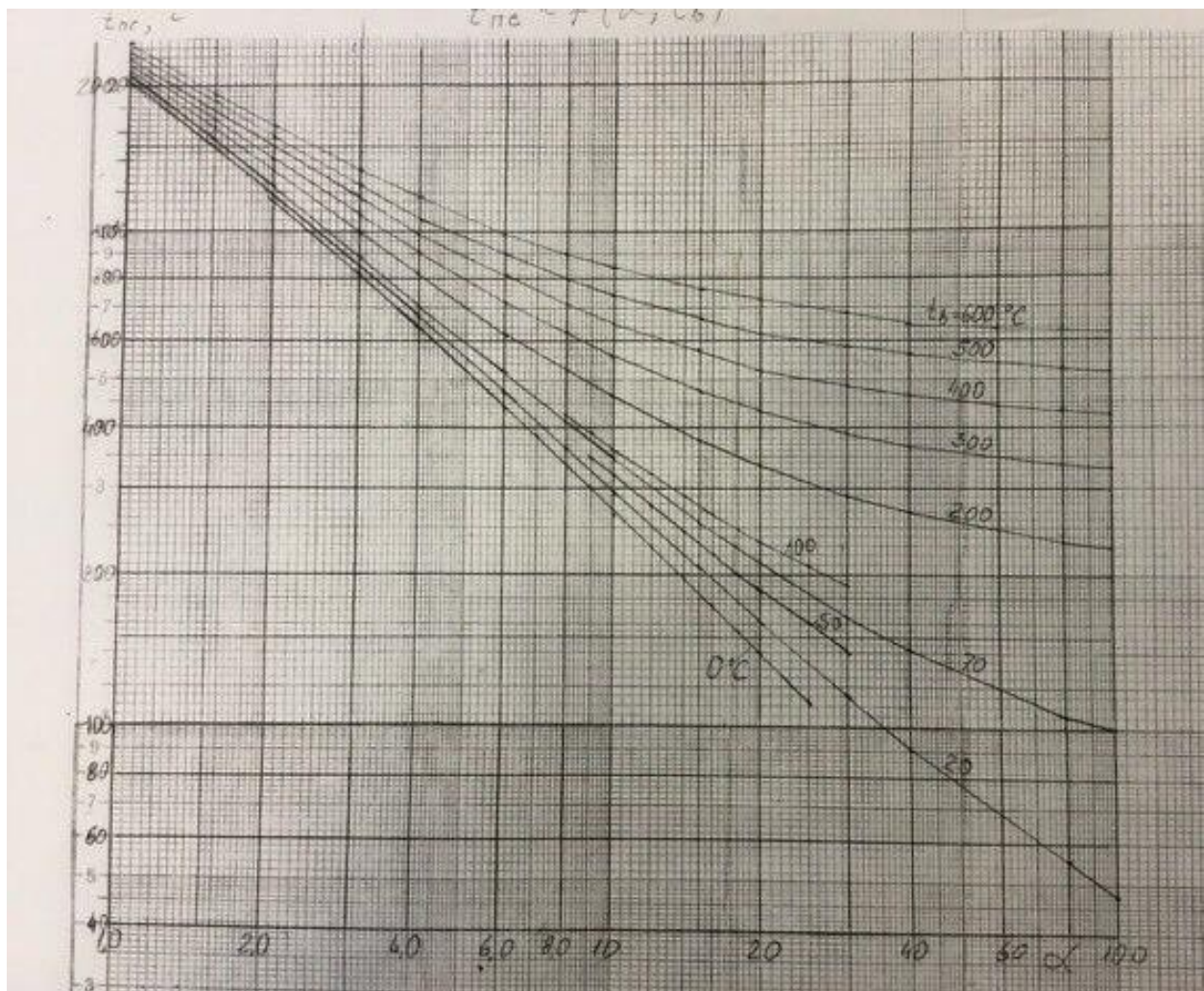


Рис.5.7 Розрахункова діаграма Коефіцієнт надлишку повітря-Температура

Розбіжність деяких позицій, зазначених у вимірах та режимній карті, пояснюються підтримкою виживання підприємства та мабуть пов'язані зі спробами виконання жорстких вимог контролюючих екологічних інстанцій.

Також у процесі дослідження було знято деякі газові форсунки, довжини факелів яких суттєво перевищували сусідні факели. Вони були розібрані та перевірені щодо робочого стану газового каналу форсунки. Огляд показав, що в газовому каналі на виході з форсунки мають місце сажові відкладення (рис. 5.8), що перешкоджають нормальному витоку газу і нормальному розвитку факела.



Рис. 5.8 Сажові відкладення на виході з форсунки

Дане явище мало місце більшою чи меншою мірою практично у всіх оглянутих форсунках. Це пояснюється тим, що в процесі роботи через недосконалість процесу організації факела форсунки відбувається контакт поверхні факела з тілом форсунки. В результаті чого відбувається несанкціоноване нагрівання тіла форсунки до температур при яких стає можливим частковий піроліз метану що надходить на горіння (розкладання молекул метану на вуглець і водень). Сажа, що

утворюється в результаті піролізу на поверхні газового каналу, є причиною неефективної роботи оглянутих форсунок. Дані сажові відкладення змінюють конфігурацію струменя газу та її ежектуючих властивостей. Внаслідок чого форсунка не може працювати в розрахунковому режимі та її факел затягується.

Крім того, затягування факела призводить до того, що відбувається накид факелу на поверхню вафельниць, що призводить до локальних перегрівів вафельниць (рис. 5.9), а, отже, і до нерівномірності прогрівання вафельниць, що в кінцевому підсумку може призвести до браку готової продукції.

Також проблема накиду факела дуже актуальна для працездатності візків вафельниць, оскільки перегрів та подальше руйнування підшипників коліс вафельниць (рис. 5.9) зрештою призводить до зупинки роботи машини в цілому.



Рис. 5.9 Накиди факелів на поверхню вафельниць та на підшипники коліс вафельниць

5.3 Методи усунення виявлених недоліків

Враховуючи описані вище недоліки, з метою усунення накидів факелу на елементи конструкції печі, підвищення якості продукції та зниження викидів окису вуглецю, був запропонований наступний варіант модернізації печі (рис. 5.10) який передбачає заміну існуючих ПП на кілька рядів ПП, що реалізують струменево-нішеву технологію.

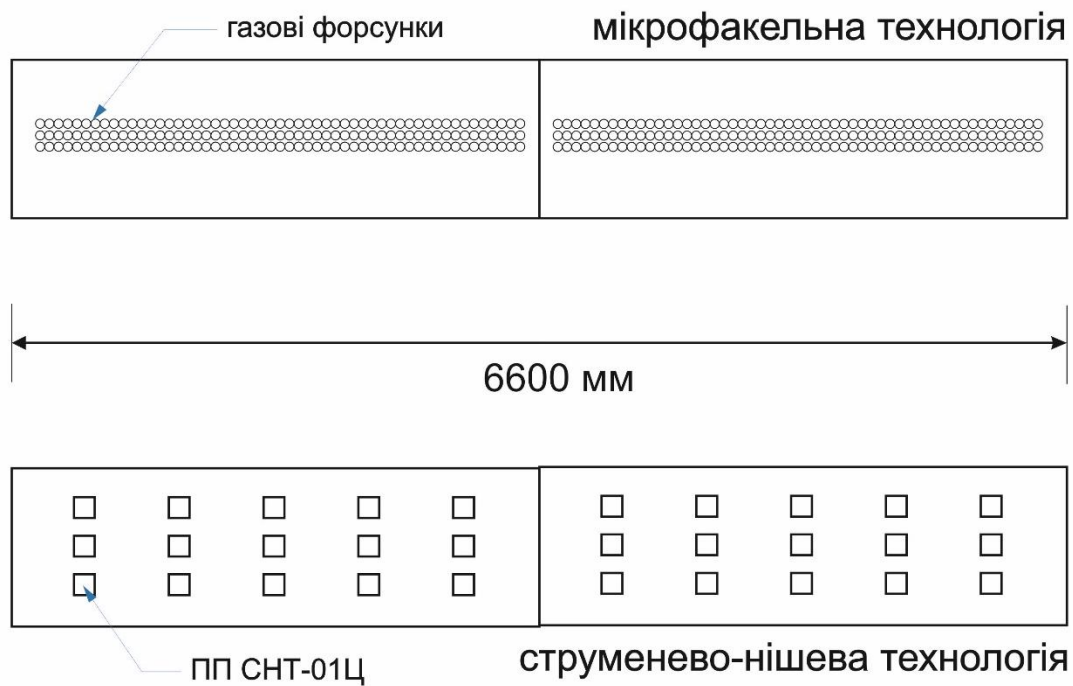


Рис 5.10 Варіант модернізації печі с заміною штатних пальникових пристроїв на ПП СНТ.

Як зазначалося вище, пальникові пристрої, що реалізують струменево-нішеву технологію, мають наступні переваги: короткий факел, можливість роботи при високих коефіцієнтах надлишку повітря, широкий діапазон стійкої роботи. ПП повинні бути розташовані таким чином, щоб їхні факели рівномірно випромінювали на всю площу вафельниці. Кількість таких рядів розраховується виходячи зі штатної витрати газу на піч, а також технічної можливості розміщення необхідної кількості пальників у ряді.

Попередня оцінка кількості ПП СНТ після модернізації. Враховуючи, що у вогнетехніці кут розкриття факелу приймається 26 градусів [27], можна порахувати яку площу перекриють факели 3 пальників (рис. 5.11).

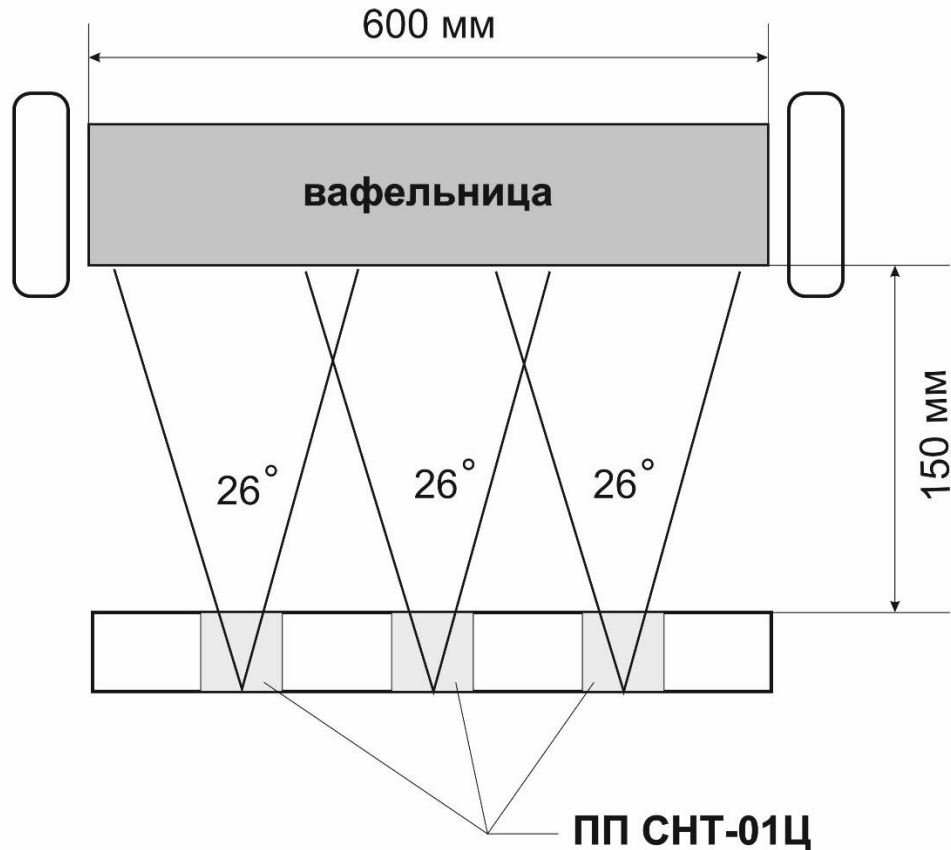


Рис. 5.11 Площа перекриття поверхні вафельниці трьома ПП СНТ-01Ц

Враховуючи, що довжина камери топки 6600 мм і прийнявши відстань між рядами 600 мм, отримуємо 10 рядів по 3 пальникових пристрої - всього 30 пальників СНТ на топкову камеру.

Розрахуємо мінімальну витрату газу на один ПП:

51 м. куб/год (витрата газу 51 м.куб/год на 1 режимі)/30 = 1,7 м.куб/год.

Пальниковий пристрій має забезпечувати факел не більше 15 см та температуру на поверхні вафельниці не більше 250 °С. Враховуючи, що температура

всередині вафельниці відповідає 170 °С, а також враховуючи, що матеріал вафельниці має велику теплову інерцію з точки зору нагріву, а також враховуючи мої дані щодо вимірювання температури поверхні вафельниці, можна зробити висновок, що час охолодження вафельниці обумовлюється часом перебування вафельниці в зоні високих температур печі та визначається швидкістю руху візків вафельниць.

5.4. Висновки до розділу 5

У цьому розділі описано конструкцію та принципи роботи печей випічки вафельного листа GOCMEN та HAAS. Описано методологію проведення досліджень топкового процесу печей. Проведено дослідження особливостей організації топкового процесу на основі мікрофакельної технології спалювання, яка реалізується за допомогою великої кількості газових форсунок невеликого розміру з малими діаметрами газороздаючих отворів.

Дослідження роботи даної печі виявило наступні особливості застосування мікрофакельної технології:

- у процесі роботи печі отвори забиваються сажею в зв'язку з недостатнім сумішоутворенням паливної суміші, що кардинально впливає на роботу всіх форсунок і призводить до росту довжини факелів та накиду їх на технологічне обладнання печі. Це веде до виходу з ладу шасі візків вафельниць.
- Зростання довжини факелів та накид їх на технологічне обладнання призводить до нерівномірності розподілу температур по поверхні вафельниць, що в свою чергу веде до зниження якості готової продукції.

Запропоновано схему модернізації даних печей на основі струменево-нішевої технології. Виконано попередній розрахунок базового пальника необхідного для модернізації.

РОЗДІЛ 6

МЕТОДИ УСУНЕННЯ ІСНУЮЧИХ НЕДОЛІКІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ТОПКОВИХ ПРОЦЕСІВ В ПЕЧАХ ГОСМЕН І НААС. ВИБІР АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПП

6.1. Теоретичне обґрунтування методу вирішення проблеми організації топкового процесу

Враховуючи вимоги до ПП, сформульовані в п.п. 5.3, для модернізації кекс-печі було розглянуто базовий пальниковий модуль СНТ із найнижчою тепловою потужністю та широким діапазоном сталого горіння з усього типоряду пальникових пристроїв СНТ. При порівнянні його номінальної потужності з необхідною номінальною потужністю ПП СНТ для модернізації печі з випікання вафельного листа (п.п 5.3), було зроблено висновок, що потужність даного базового модуля надмірно висока для використання його як ПП на печах з випікання вафельного листу.

Враховуючи, що довжина камери згоряння печі з випікання вафельного листа дорівнює 6600 мм і прийнявши відстань між рядами 600 мм, отримуємо 10 рядів по 3 ПП - всього 30 ПП на топкову камеру (рис. 5.10). Мінімальна витрата газу, наприклад печі ГОСМЕН на першому режимі, становить 51 м. куб/год. Тоді:

$$51 \text{ м. куб/год} / 30 = 1,7 \text{ м. куб/год.}, \quad (6.1)$$

При номінальній потужності базового модуля – 13 кВт.

$$V_{\text{повітря}} = 4,43 \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{повітря}}}{\rho_{\text{повітря}}}} = 4,43 \sqrt{\frac{2}{1,2}} = 5,7 \text{ м/сек}, \quad (6.2)$$

, де $\Delta P_{\text{повітря}}$ – це тиск повітря, приймається як 2 мм.вод.ст., мм.вод.ст.; $\rho_{\text{повітря}}$ – густина повітря, при нормальних умовах приймається як 1,2 кг/м.куб. Таким чином:

$$G_{\text{повітря}} = 0,00432 \text{ м. кв.} * 5,7 \text{ м/сек} = 0,024624 \text{ м. куб/сек} = 88,65 \text{ м. куб./год}$$

(6.3)

Щоб порахувати витрату газу використовуємо стехіометричний коефіцієнт співвідношення газ-повітря, котрий дорівнює близько 10. При альфа відповідної одиниці, витрата газу, відповідна даній витраті повітря, буде дорівнювати 8,865 м. куб/год. Для того, щоби знизити довжину факелу, потрібне надлишкове повітря. Тому, приймемо надлишок повітря таким, при якому α (коефіцієнт надлишку повітря) дорівнює 2. При $\alpha=2$ витрата газу становитиме: $8,865 \text{ м. куб/год.} / 2 = 4,43 \text{ м. куб/год.}$ Це втричі перевищує витрату газу номінального режиму пальникового пристрою, необхідного для даної схеми модернізації.

Як видно з п.п. 4.1, для пальника СНТ-11, який пропонується встановити на піч випічки вафельного листа, ця витрата є передзривною і, отже, надійна робота на даній витраті неможлива. Тому виникає необхідність зменшити розміри ПП.

6.2 Визначення критичного характерного розміру ПП СНТ-11 при зменшенні його потужності та геометричних розмірів

В роботі [104] зазначено, що при зближенні стінок каналу подачі повітря базового модуля СНТ на ширину модуля в 50 мм, в системі спостерігаються крайові ефекти, що негативно впливають на робочий процес ПП і його характеристики. Для детального дослідження було:

- Виготовлено кілька пальників з характерним розміром сторони прямокутника фронту ПП (або ширини пілона) в 70, 60, 50 і 40 мм (рис. 6.1 і рис. 6.2);



Рис. 6.1 Пілон
шириной 50 мм



Рис. 6.2 Пілон
шириной 60 мм

- Був створений експериментальний стенд (рис. 6.3), на якому проводилися роботи з вивчення робочого процесу кожного з виготовлених пальникових пристроїв.

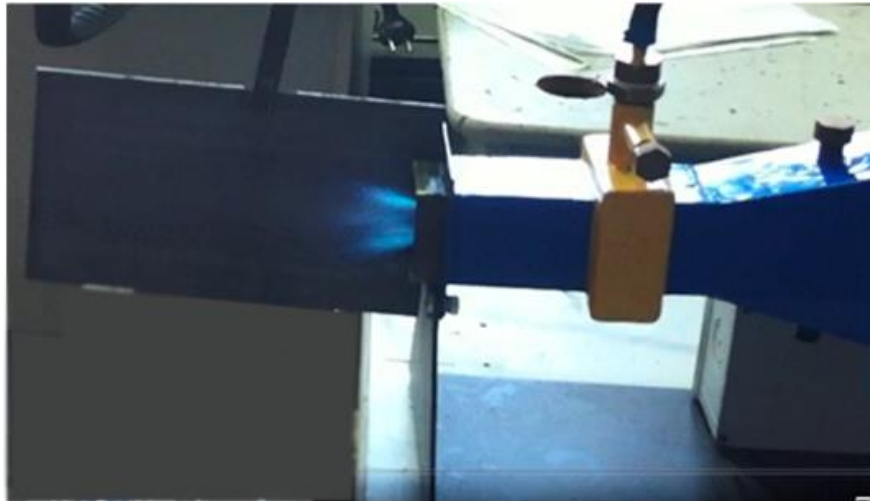


Рис. 6.3 Експериментальний стенд з вивчення робочого процесу виготовлених пальникових пристроїв

Випробування показали, що проблема зазначена в [104] дійсно існує. Крайові ефекти починають негативно впливати на робочий процес ПП при випробуванні

пілона з характерним розміром 50 мм в порівнянні з 60-мм пілоном (рис 6.4 та рис 6.5), а також з пілонами з розмірами 70 та 80 мм (базовий модуль).

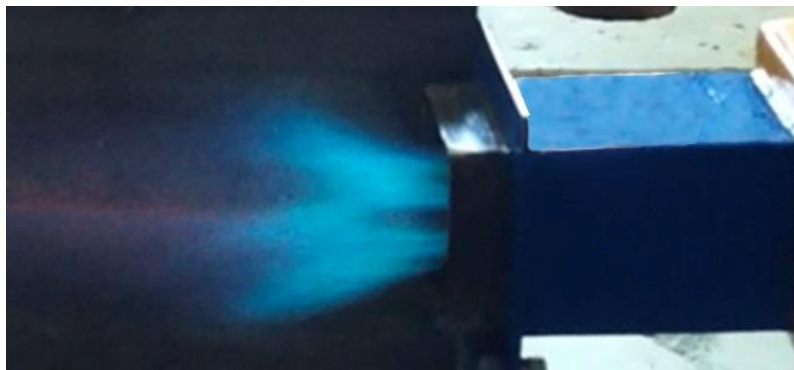


Рис. 6.4 Випробуванні пілона з характерним розміром 60 мм



Рис. 6.5 Випробуванні пілона з характерним розміром 50 мм

З рисунку 6.5 видно, що крайові ефекти призводять до відриву факелу на відстані приблизно 7-10 мм від стінки каналу з одного та іншого боків.

Тому розмір модуля із шириною пілона 50 мм ми приймаємо таким, що є критичним та його подальше використання небажане.

Враховуючи, що зменшений розмір пілону в 50 мм не зможе привести даний модуль до надійної роботи на малих витратах, було прийнято рішення зменшити вплив крайових ефектів за допомогою переходу від традиційного прямокутного модуля на циліндричний. Принципова схема такого модуля наведена на рисунку 6.6.

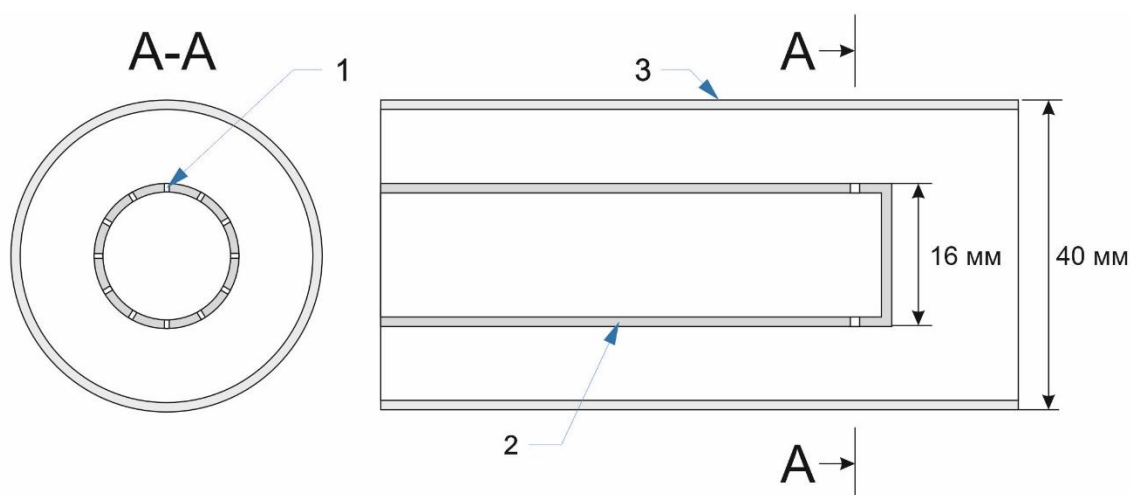


Рис. 6.6 Циліндричний модуль

1. Газоподаючі отвори; 2. Газороздаючий пілон; 3. Повітряний канал

Для оцінки параметрів такого струменево-нішевого циліндричного модуля, який має відповідати всім переліченим вище вимогам робочого процесу печі, було побудовано комп'ютерну модель експериментального стенду та проведено аеродинамічні дослідження робочих процесів кількох варіантів такого модуля з циліндричним газороздаючим модулем.

6.3 Математичне моделювання. Вибір оптимальних параметрів ПП циліндричної форми

Математичне моделювання спрямоване на створення спрощених, але відповідних відображень технологічних процесів і пристроїв. Розробка моделі дозволяє розкрити особливості процесу та забезпечує подальшу роботу, спрямовану на визначення оптимального результату.

Комп'ютерна модель експериментального стенду та аеродинамічні дослідження робочих процесів циліндричного пальника були побудовані в програмі SolidWorks. Всі експерименти були проведені в ізотермічних умовах для перевірки структури течій досліджуваної моделі пальникового пристрою. Метою експериментів було визначення впливу відносного кроку отворів на циліндричній поверхні пальника на розподіл палива на виході з ПП.

У вказаній програмі була побудована модель експериментального стенду з наступними параметрами: циліндричний ПП діаметром воздуховода $\varnothing$ 40мм та з газовим колектором $\varnothing$ 16 мм, газоподаючі отвори $\varnothing$ 1 мм з відносними кроками 2, 5; 3; 3,5. Діаметр газового колектора був обраний виходячи з того факту, що довжина кола 16 мм-го пілону (трубки) відповідає характерному критичного розміру пілона 50 мм мінімальної потужності.

На цих типорозмірах були проведені експерименти з трьома витратами газу: 1м. куб/год, 3 м. куб/год та 5 м. куб/год.

Для моделювання аеродинаміки ПП було визначено «граничні умови» - витрати та тиску в перерізах, через які потрібно подавати робочі середовища (природний газ та повітря).

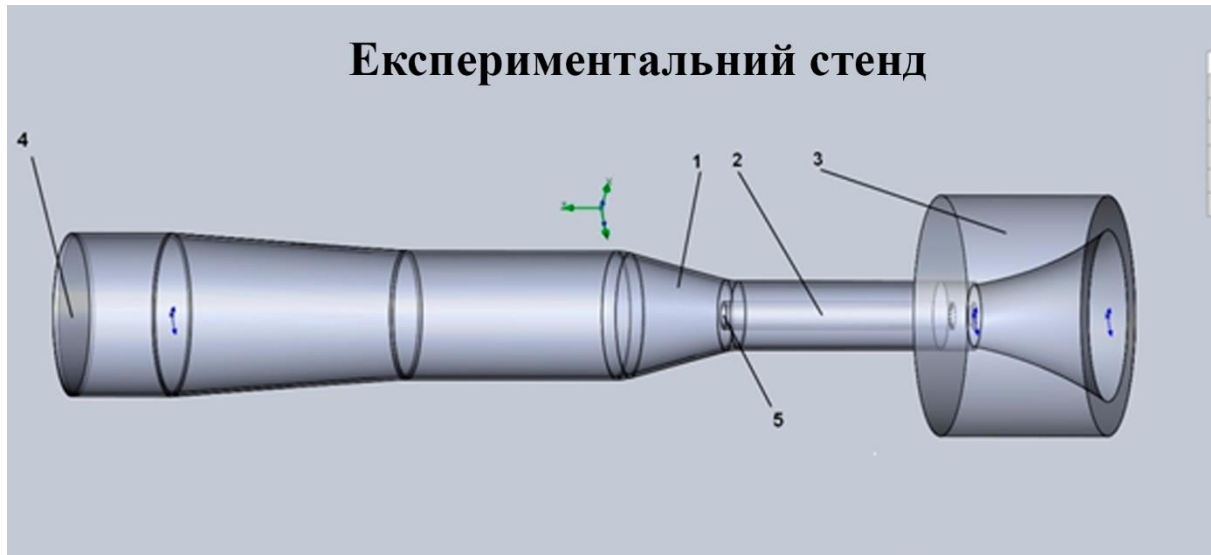


Рис. 6.7 Експериментальний стенд.

1 – повітряний канал; 2 – газороздаючий пілон; 3 – амбразура; 4 – перший перетин повітряного каналу; 5 – перший перетин на газороздаючому пілоні.

Для повітря вхідним перерізом є перший перетин зліва (поз.4 на рис.6.7). Для природного газу – перетин ліворуч по потоку на газороздаючому пілоні (поз.5, рис.6.7).

Для цих перерізів визначаються всі параметри робочого середовища (витрата, тиск, температура). Також визначено переріз, в якому будуть відслідковувалися результати та досліджуваний параметр, у нашому випадку об'ємна концентрація природного газу та швидкість паливоповітряної суміші.

Проведені розрахунки для кожного типорозміру та витрати.

Результати проведених досліджень наведені у Додатку 3.

Відносний крок	Витрата газу	α
2,5	3 м. куб/год	2

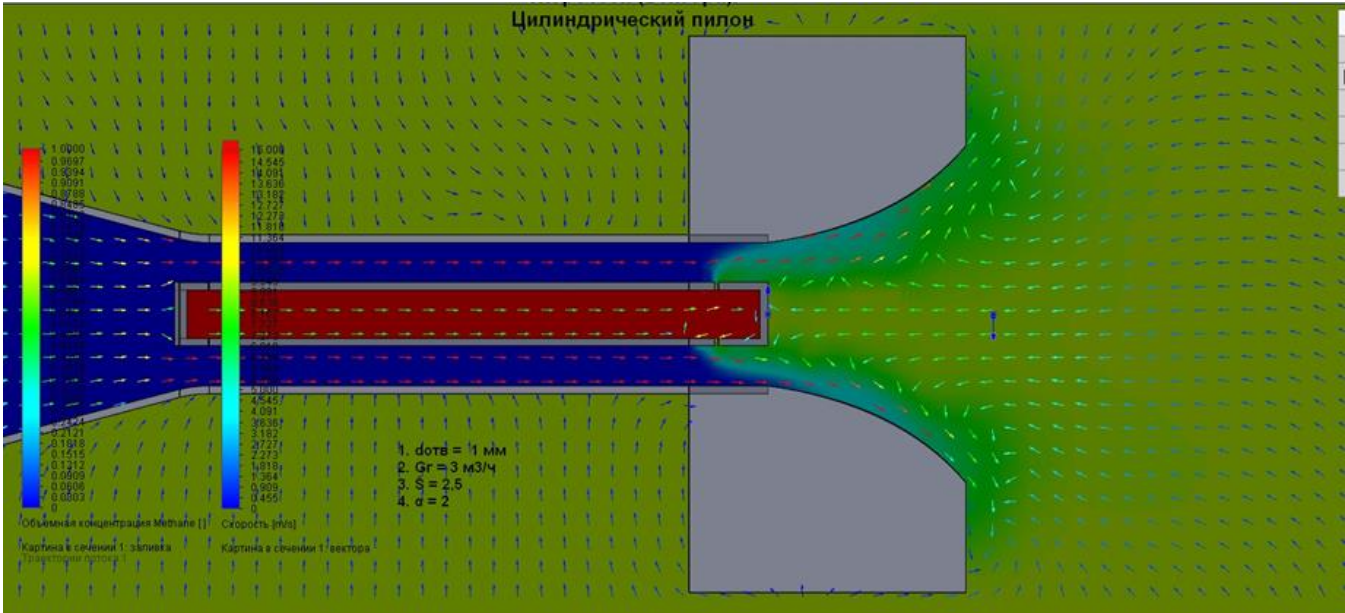


Рис.6.8 Поле концентрацій природного газу на виході з пальника.

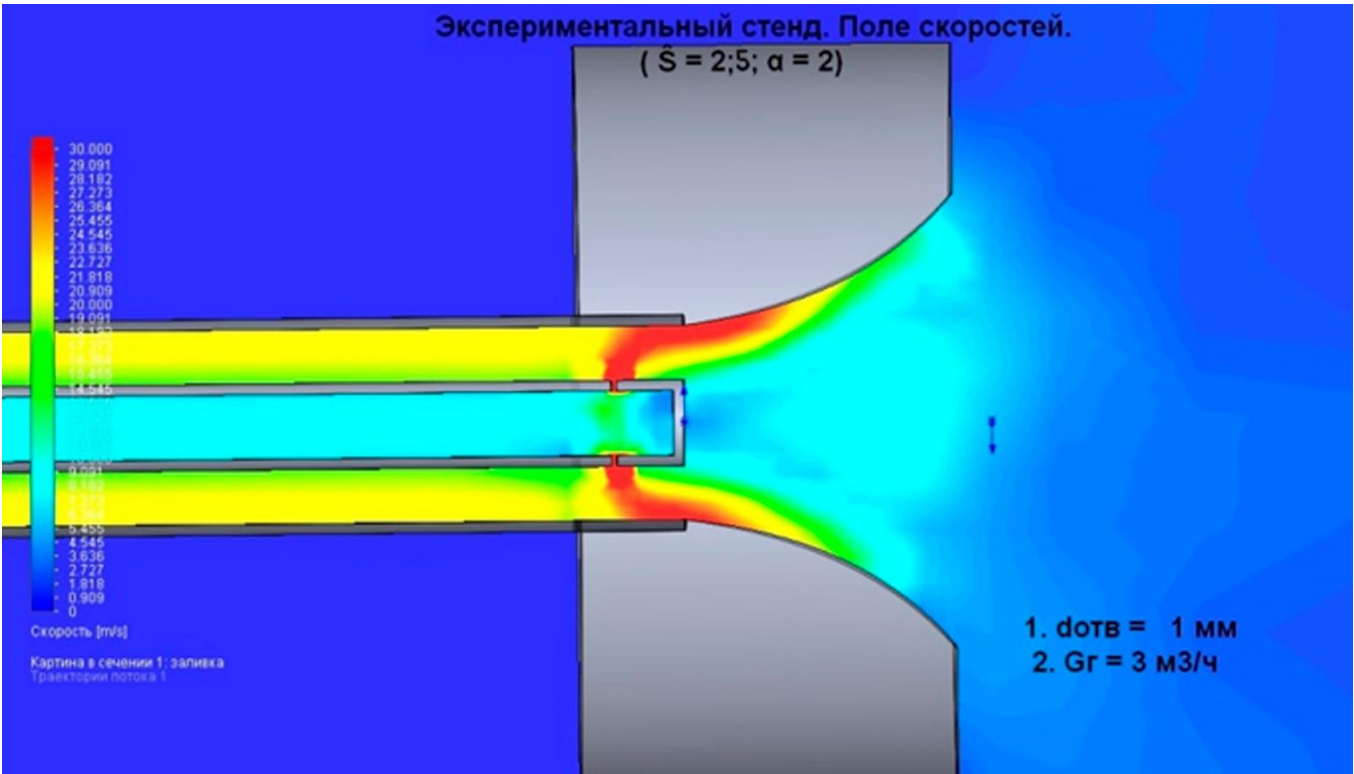


Рис.6.9 Поле швидкостей на виході з пальника

6.4 Адаптація запропонованого пальникового пристрою СНТ до потрібних витрат газу в печі по виготовленню вафельного листа. Прив'язка його геометричних розмірів

В результаті проведення аналізу особливостей аеродинаміки та сумішоутворення циліндричних струменево-нішевих модулів за допомогою комп'ютерного моделювання, докладно описаних у п.п. 6.3, було прийнято рішення взяти за основу для подальшого дослідження та вивчення робочого процесу, циліндричний пілон струменево-нішевого модуля пальника (рис. 6.10).

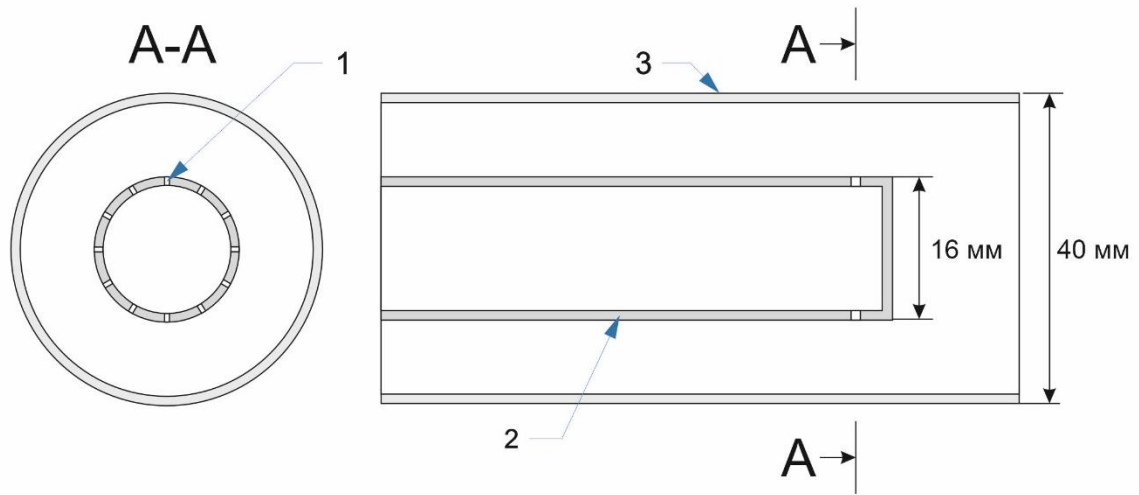


Рис. 6.10 Циліндричний пілон струменево-нішевого модуля пальника

Крім того, для перевірки правильності комп'ютерного моделювання було проведено низку досліджень, пов'язаних з іншими діаметрами модулів та газороздавальних отворів (1,5 та 2 мм). Модулі зображені на рисунку 6.11 а та рисунку 6.11 б.



Рис. 6.11 а



Рис. 6.11 б

За основний варіант досліджень приймався циліндричний пілон діаметром 16 мм, в якому по утворюючий був виконаний ряд газороздавальних отворів діаметрами 1 мм і 2 мм з різними відносними кроками.

Дослідження проводилися на натурному об'єкті, в якому на всмоктування вентилятора встановлювався циліндричний пілон і візуально фіксувалося взаємодії струменів газу.

Враховуючи, що в роботі [23], яка є базовою роботою струменево-нішевої технології, зазначено, що оптимальний крок для плоскої струменево-нішевої системи є відносний крок 3,3 незалежно від діаметра газороздавальних отворів. Однак це твердження було засноване на випробуваннях плоскої системи і було б цілком справедливим для базового плоского струменево-нішевого модуля СНТ-11.

При випробуваннях струменево-нішевих циліндричних модулів з діаметром газороздаючого пілону 16 мм, у яких (у відмінність від плоского пілону, де осі газових отворів паралельні) газові отвори розташовані під кутами один до одного (рис 6.12).

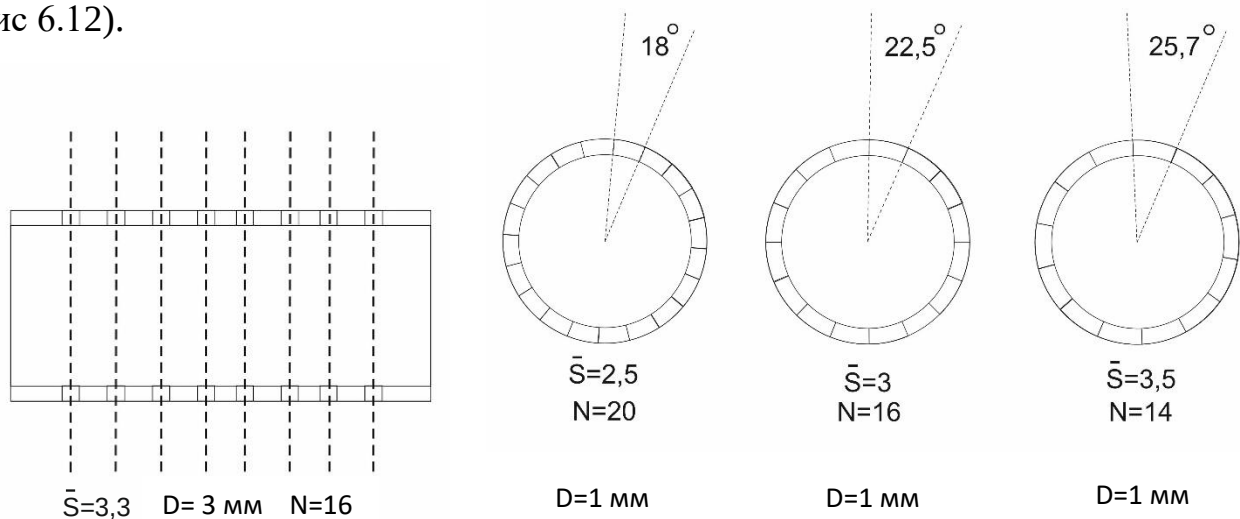


Рис 6.12 Залежність величини кута між газоподаючими отворами від відносного кроку

У цьому випадку може змінюватися розподіл газу в потоці окислювача; можуть змінюватися швидкісні, температурні та концентраційні поля продуктів згоряння на виході з ПП. Одним із основних завдань досліджень була перевірка результатів досліджень за допомогою математичного моделювання, результати якого приведені в п.п. 6.3.

У ході перевірки досліджувалось:

- досліджувався вплив розташування газових струменів на конфігурацію течії в необмеженому просторі (з погляду розвитку газових струменів);

- досліджувався взаємний вплив розташування газових струменів на конфігурацію течії реальної конструкції струменево-нішевого модуля, змодельованого в пункті 6.3.

Дослідження взаємодії струменів газу відбувалось за допомогою розташування пілонів діаметром 16 мм у всмоктувальні патрубки вентиляторів промислових котлів. Після цього газ, що витікає з отворів пілона, підпалювався переносним запальником і далі візуально оцінювався рівень взаємодії струменів між собою.



Рис 6. 13 Відносний крок 3,5



Рис. 6. 14. Відносний крок 3



Рис. 6. 15.1 Відносний крок 2,5



Рис. 6. 15. 2 Відносний крок 2,5

На рисунках (Рис 6. 13 і рис. 6. 14 та рис. 6.15.1) наведена взаємодія струменів газу в циліндричному пілоні з відносним кроками отворів 2,5, 3 та 3,5.

Як видно з рисунків (Рис 6. 13 та Рис 6. 14) струмені погано взаємодіють і не створюють єдину зону циркуляції імовірно через високий ступінь кривизни та великі кути між ними.

У той самий час, на рис. 6. 15.1 видно, що струмені газу зливаються в єдину систему, що підтверджує висновки комп'ютерного моделювання щодо оптимальності кроку 2,5. На рисунку 6.15.2 видно високу стійкість стабілізації факела в струменево-нішевий системі у випадку коли пілон розташований під кутом 90 градусів до набігаючого потоку. Це свідчить про високу стабілізаційну спроможність системи струменів з відносним шагом 2,5, що не спостерігається у системах відносними з кроками 3 та 3,5.

В таблиці 6.1 наведено дані відносно кутів між газороздаючими отворами пілону 16 мм залежно від відносних кроків.

Відносний крок	Кут	Розташування струменів	Діаметр модуля, мм	Діаметр отворів, мм
2,5	18°	Зливаються	16	2
3	22,5°	Критичний кут	16	2
3,5	25,7°	Є розриви між струменями	16	2

Табл. 6.1 Таблиця кутів між газороздаючими отворами пілону 16 мм

З таблиці видно, що мінімальний кут (критичний), при якому починаються розриви між струменями, це кут 22,5 градусів.

Для цього були виготовлені пілони діаметрами 13 та 10 мм (рис. 6. 16) з діаметрами газороздаючих отворів 1 мм і відносним кроком 2,5, та були проведені дослідження впливу зміни діаметру пілону струменево-нішевого модулю менше 16 мм на ефективність його робочого процесу (рис. 6.17 та рис. 6 18).



Рис. 6. 16 Циліндричні пілони діаметрами 13 мм та 10 мм



Рис. 6. 17 Дослідження роботи пілону 10 мм



Рис. 6. 18 Дослідження
роботи пілону 13 мм

Відносний шаг	Кут	Розташування струменів	Діаметр модуля, мм	Діаметр отворів, мм
2,5	30°	Є розриви між струменями	10	1
2,5	22,5°	Критичний кут	13	1

Табл. 6.2 Таблиця кутів між газороздаючими отворами пілонів 10 мм та 13 мм

Згідно даних з таблиці 6.2 видно, що як і у випадку з пілоном з діаметрами отворів 2 мм та кроком 3,5 взаємодія струменів газу недостатньо ефективна. Тому можна дійти висновку, що подальше зниження діаметра пілона недоцільно і діаметр пілона 10 мм вважатимуться критичним.

В результаті проведених експериментів можна зробити узагальнену таблицю (табл. 6.3) та розглянути залежність надійності роботи струменево-нішевого модуля від кута між осями газороздаючих отворів.

Діаметр модуля, мм	Відносний крок	Кут	Розташування струменів	Діаметр отворів, мм
16	2,5	18°	Зливаються	2
16	3	22,5°	Критичний кут	2
16	3,5	25,7°	Є розриви між струменями	2
10	2,5	30°	Є розриви між струменями	1
13	2,5	22,5°	Критичний кут	1

Табл. 6.3 Узагальнена таблиця кутів

З таблиці 6.3 видно, що незважаючи на відносний крок та діаметр пілонів головну роль у надійності роботи такої системи відіграє кут між осями струменів, який становить (як видно з таблиці) **22,5 градусів**.

На підставі проведених експериментів для подальшого конструювання перспективного ПП для печі випічки вафельного листа, був прийнятий модуль з наступними характеристиками: діаметр пілона 16 мм, діаметр газових отворів 1 мм, відносний крок газових отворів 2,5.

На основі отриманих даних у пункті 6.3 та перевірки їх у пункті 6.4, був створений експериментальний стенд (рис. 6.19 та рис. 6.20)

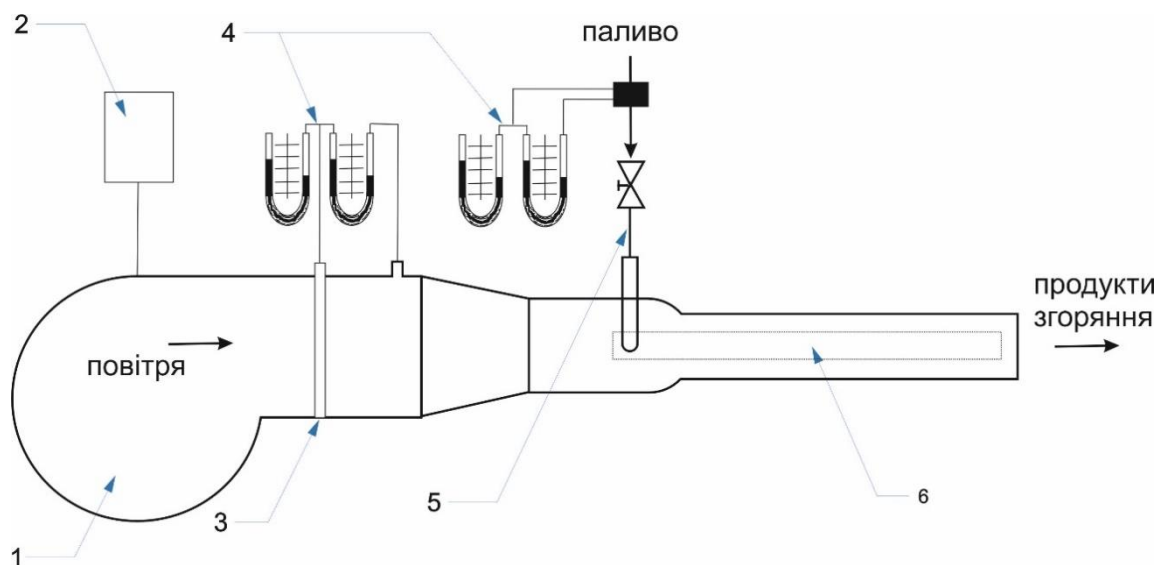


Рис. 6.19 Схема експериментального стенду лабораторії НВО СНТ для дослідження роботи циліндричних пілонів: 1 – вентилятор; 2 – пристрій частотного регулювання обертів вентилятора; 3 – інтегральна трубка Піто; 4 – блоки манометрів; 5 – подача палива; 6 – циліндричний струменево-нішевий модуль.



Рис. 6.20 Фото експериментального стенду дослідження

Повітря надходить з вентилятора і подається в циліндричний канал повітряного пристрою діаметром 40 мм, в якому встановлений циліндричний пілон діаметром 16 мм з розмірами діаметра газороздаючих отворів 1 мм і наступними кроками (рис. 6.21; рис. 6.22; рис. 6.23):



Рис. 6.21 Робота циліндричного пілона з відносним кроком 2,5



Рис. 6.22 Робота циліндричного пілона з відносним кроком 3

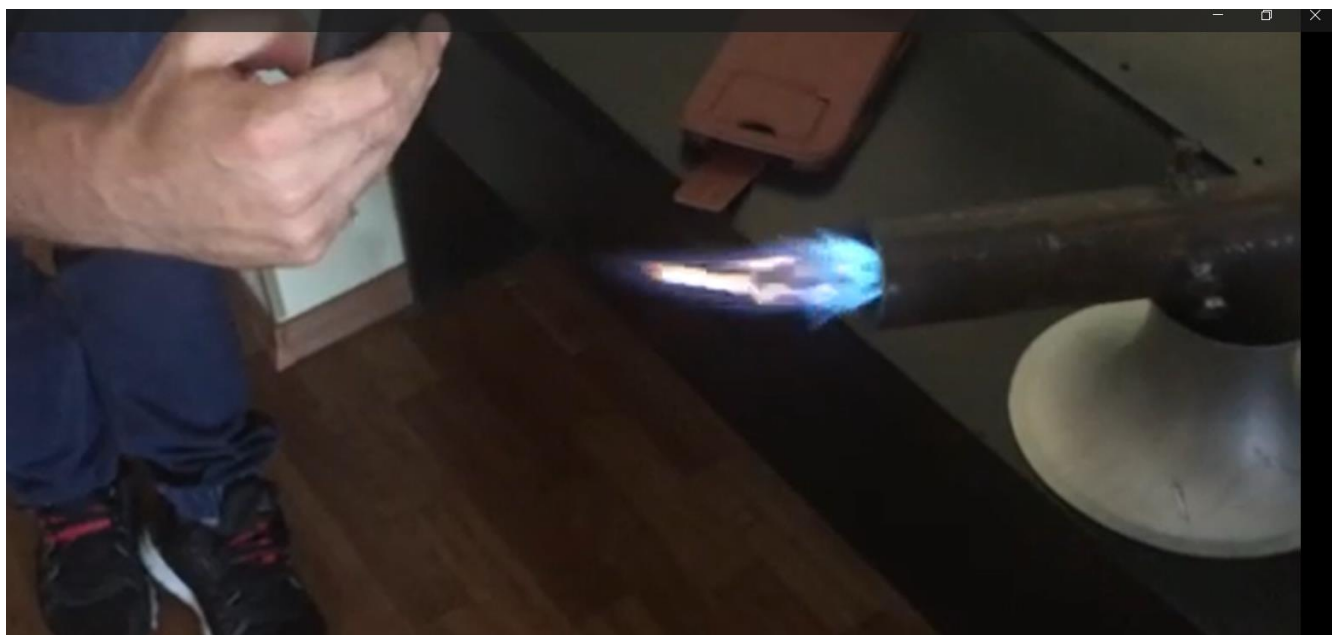


Рис. 6.23 Робота циліндричного пілона з відносним кроком 3,5

На рисунку (рис. 6.23) видно, що через порушення течії через неякісне утворення єдиної зони циркуляції за струменями, в центрі відбувається затягування факела по осі ПП через недостатньо надійну роботу єдиної зони циркуляції системи струменів.

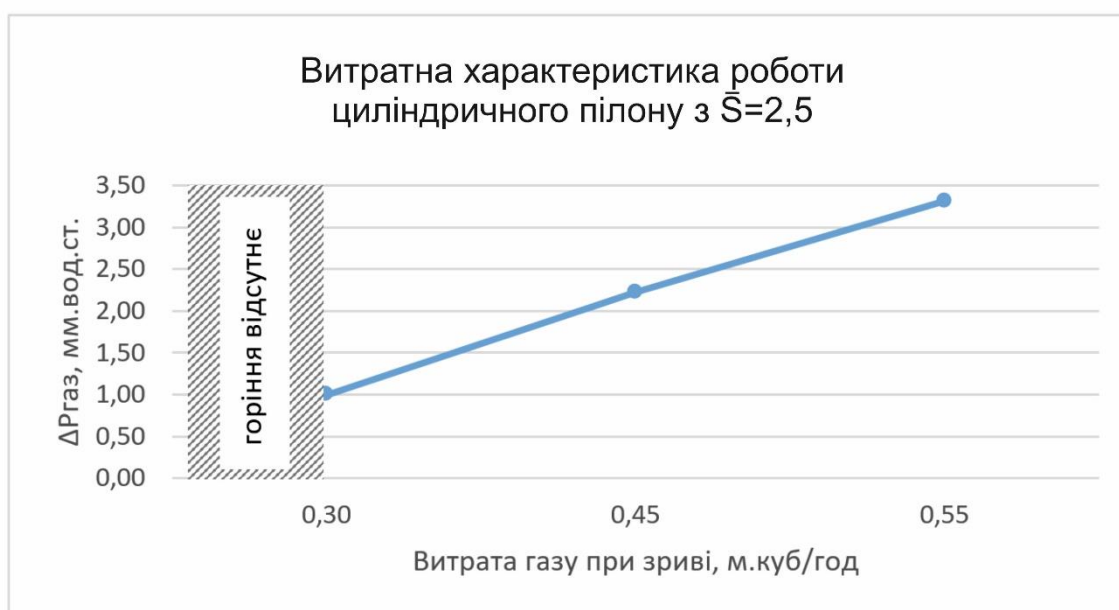


Рис. 6.24 Витратні характеристики циліндричного пілону з $S=2,5$

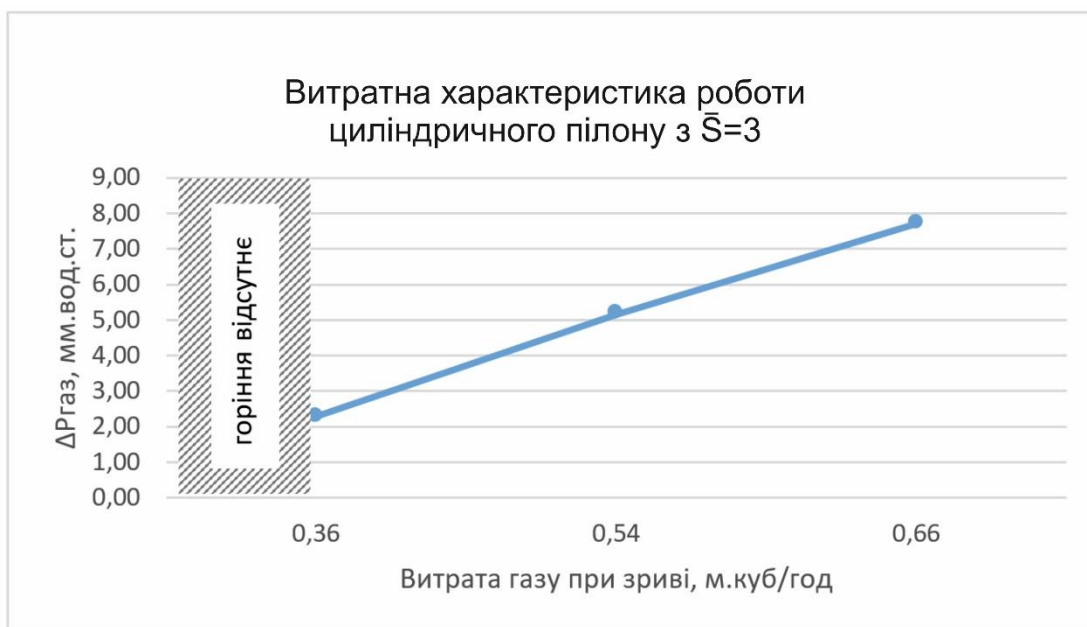


Рис. 6.25 Витратні характеристики циліндричного пілону з $S=3$

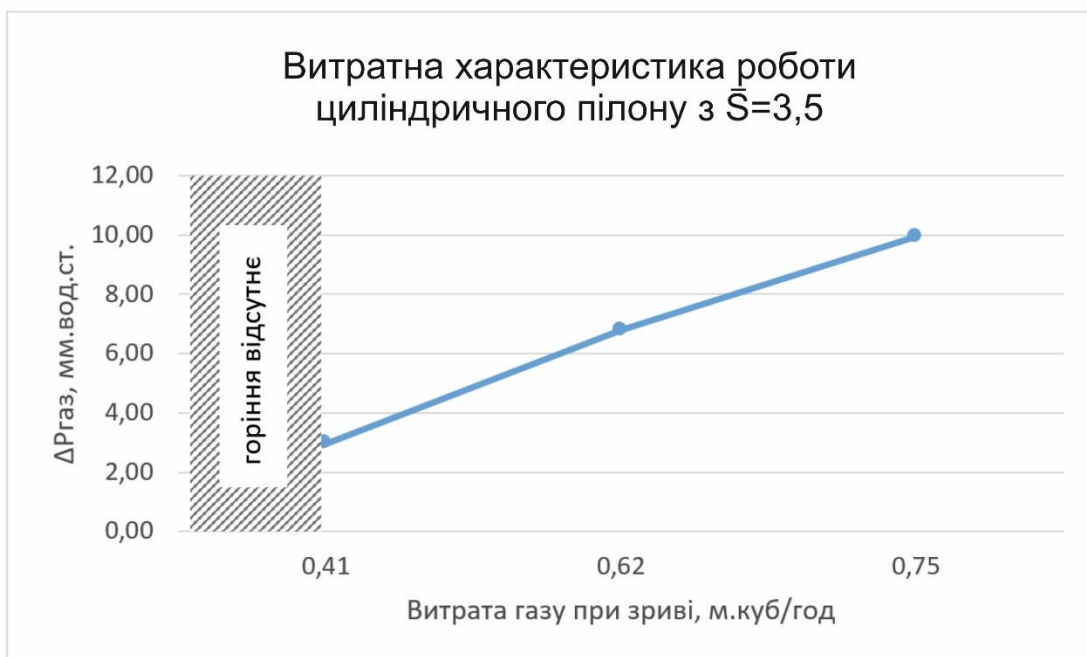


Рис. 6.26 Витратні характеристики циліндричного пілону з $S=3,5$

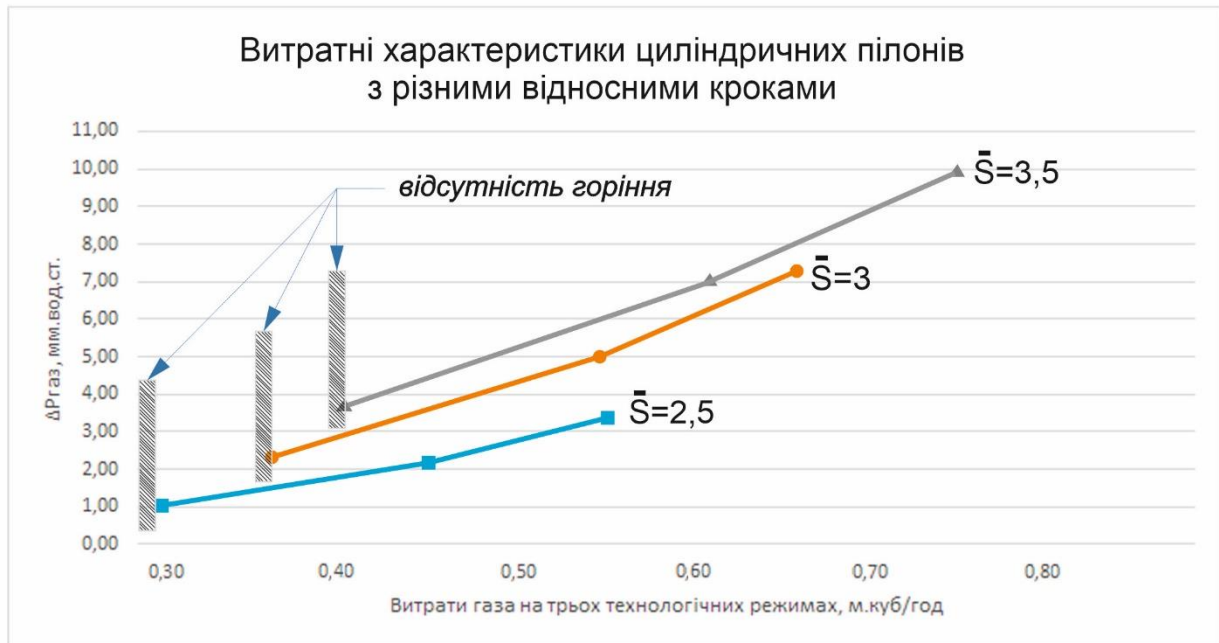


Рис. 6.27 Витратні характеристики циліндричних пілонів з різними відносними кроками

На рисунках 22 – 24 представлені зрівні характеристики ПП з модулями діаметром 16 мм і відносними кроками розташування отворів (діаметром 1 мм): 2,5, 3 і 3,5 відповідно. Точки на графіках були отримані експериментальним шляхом на 3-х режимах роботи повітрям, відповідних 3 режимам роботи машини GOCMEN по режимній карті (п.п. 5.2, рис. 5.6) з урахуванням номінальних витрат газу в перерахунку на нові пальникові пристрої та відповідні їм витрати повітря з альфа = 2.

На рис. 6.27 представлені для порівняння зрівні характеристики ПП з пілонами з відносними кроками отворів 2,5; 3; та 3,5. Як видно з рисунку, найбільш широкий діапазон стійкої роботи має пальниковий пристрій з відносним кроком розташування отворів 2,5. Що підтверджує результати чисельного моделювання, а також результати експериментів щодо взаємного впливу струменів газу на структуру зони стабілізації.

В результаті проведених досліджень встановлено:

1. Візуальне спостереження за розвитком системи струменів показали, що найбільш ефективно утворення зони зворотних струмів відбувається при пілоні діаметром 16 мм та кроці 2,5.

2. Дослідження зривних характеристик при робочих витратах повітря показали, що найбільше стійке горіння відбувається при кроці 2,5, що підтверджується і візуальними спостереженнями, і математичним моделюванням у підрозділі 6.3.

6.5 Формування необхідних конфігурацій полів концентрацій та температур у ПП СНТ з циліндричним пілоном діаметром 16 мм

У процесі проведених досліджень було встановлено, що довжина факелів досліджуваних циліндричних модулів вища, ніж допустима відстань від ПП до вафельниці. Тоді для тотожності реальних випробувань моделям, наведеним у п.п 6.3, були виготовлені амбразури з конфігурацією, яка була розрахована в математичних моделях. Відповідно до математичної моделі було виготовлено металеве свердло-лекало (рис 6.28), за допомогою якого в керамічній вогнестійкій плиті з незначним ступенем густини було виготовлено амбразуру з відповідним розкриттям.



Рис. 6.28 Виготовлення амбразурі за допомогою металевого свердла-лекала.

Подальші випробування проводилися на стенді (рис. 6.29) з встановленою амбразурою.

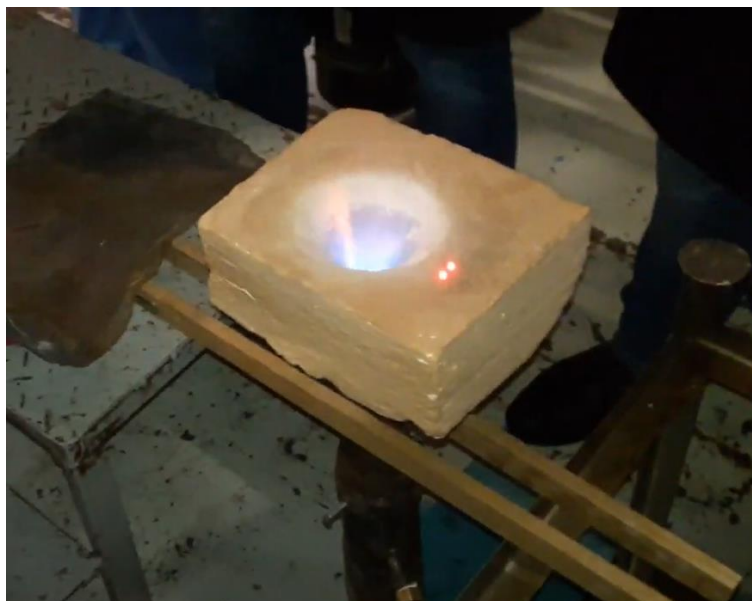


Рис. 6.29 Стенд з встановленою амбразурою

Встановлення даної амбразури на пальниковий пристрій кардинально змінило форму факела та його довжину. На рисунку 6.30 видно, як установка амбразури на ПП скорочує факел.

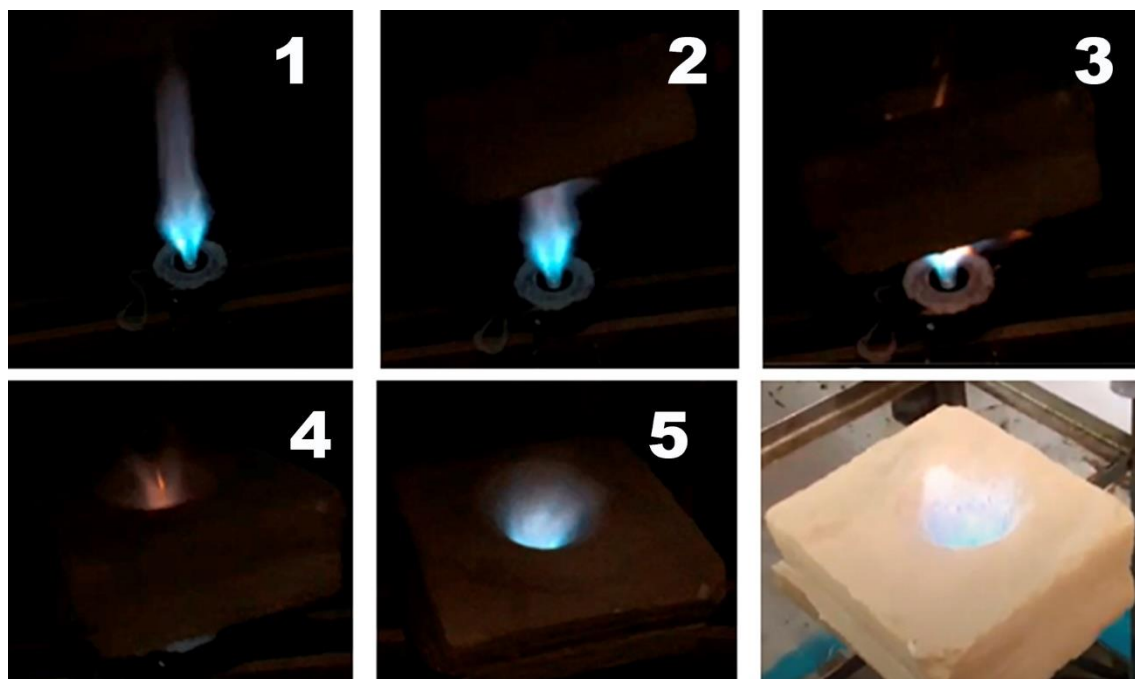


Рис. 6.30 Вплив амбразури на форму і довжину факелу.

З серії фотографій на рисунку 6.37 показано як на працюючий модуль з витратою газу 3 м. куб/год, що відповідають третьому режиму роботи печі, встановлюється амбразура. При цьому видно як факел пальника змінює свою форму і значно скорочує свою довжину.

Далі була проведена серія експериментів, на якій вивчалася довжина факела з амбразурою в залежності від витрати газу, а також рівномірність температурного поля факела.

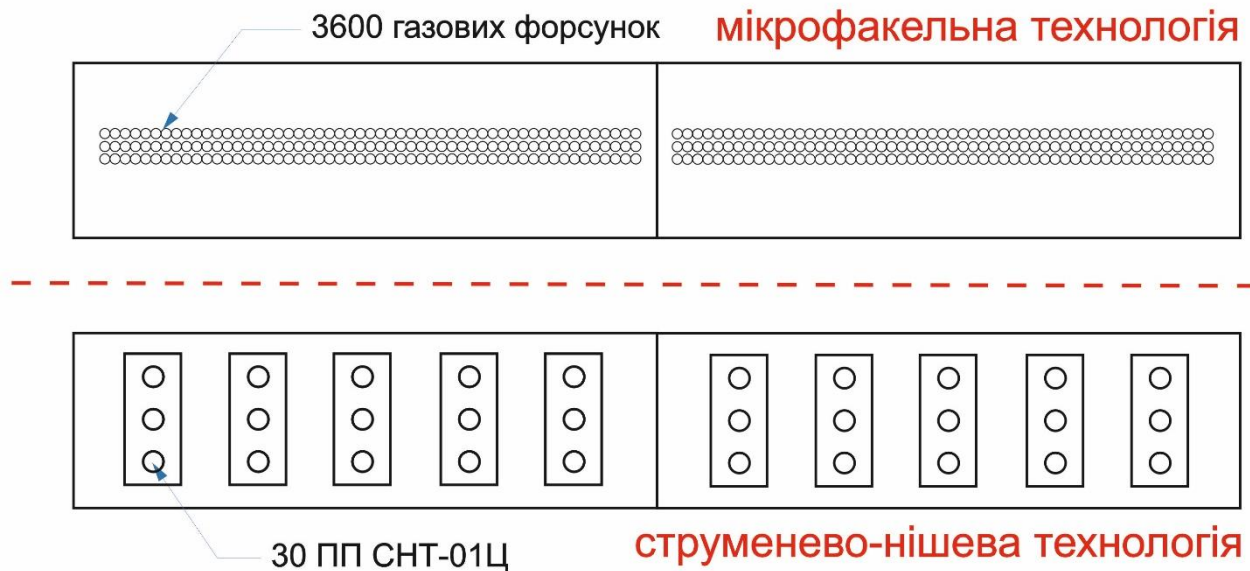


Рис 6.31 Схема розміщення ПП з циліндричним модулем

На схемі (рис 6.31) показано розміщення ПП з циліндричним модулем діаметром 16 мм, діаметром газороздавальних отворів 1 мм і відносним кроком 2,5 круглою амбразурою (СНТ-01Ц) на печі для випікання вафельного листа.

На рисунках (рис 6.32, рис.6.33 та рис.6.34) показані фотографії роботи ПП СНТ-01Ц з циліндричним модулем діаметром 16 мм та відносним кроком 2,5 на витратах, що відповідають витратам на трьох технологічних режимах відповідно режимній карті (рис 5.6) роботи вафельної печі ГОКМЕН на полтавській фабриці ДОМІНІК. А саме:



Рис 6.32 Перший режим:

51 м.куб/год. / 30 = 1,7 м.куб/год.

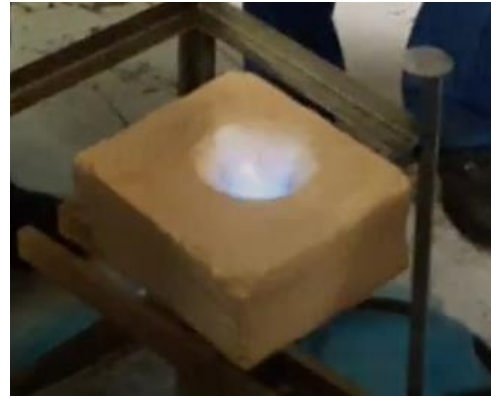


Рис 6.33 Другий режим:

76 м.куб/год. / 30 = 2,53 м.куб/год.



Рис 6.34 Третій режим:

93 м.куб/год / 30 = 3,1 м.куб/год.

Як видно з фотографій на жодному із зазначених режимів факел не виходить за межі амбразури пальника. І таким чином виконується умова по довжині факела, сформульована в п.п. 5.3.

Після отримання необхідної довжини факела на пальнику СНТ-01Ц були проведені дослідження рівномірності температурного поля, отриманих факелів. Дослідження проводилися за допомогою металевої сітки, які встановлювалися на різних відстанях від амбразури пальника. Виміри температури на поверхні сітки проводилися оптичним пірометром (рис 6.35).



Рис 6.35 Виміри температури оптичним пірометром

Для візуалізації рівномірності температурного поля факелу ПП СНТ-01Ц було проведено експеримент з металевою сіткою на режимі роботи 3,1 м.куб/год, коли металева сітка нагрівалася до температури, що викликає її свічення, що видно на рисунку 6.36.

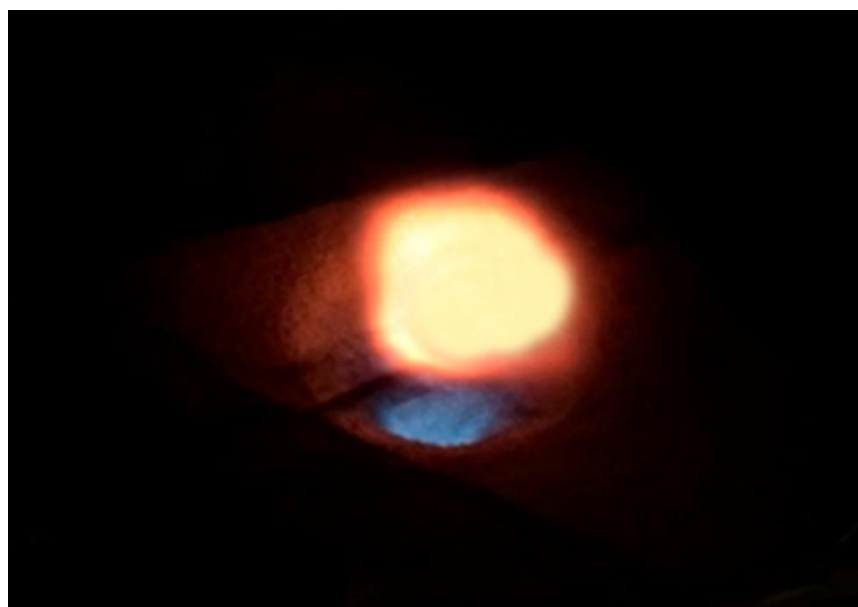


Рис 6.36 Свічення металевої сітки

Побудовано графік (рис. 6.37) залежності температури на поверхні сітки від відстані між фронтом полум'я пальника СНТ-01Ц і металевою сіткою.

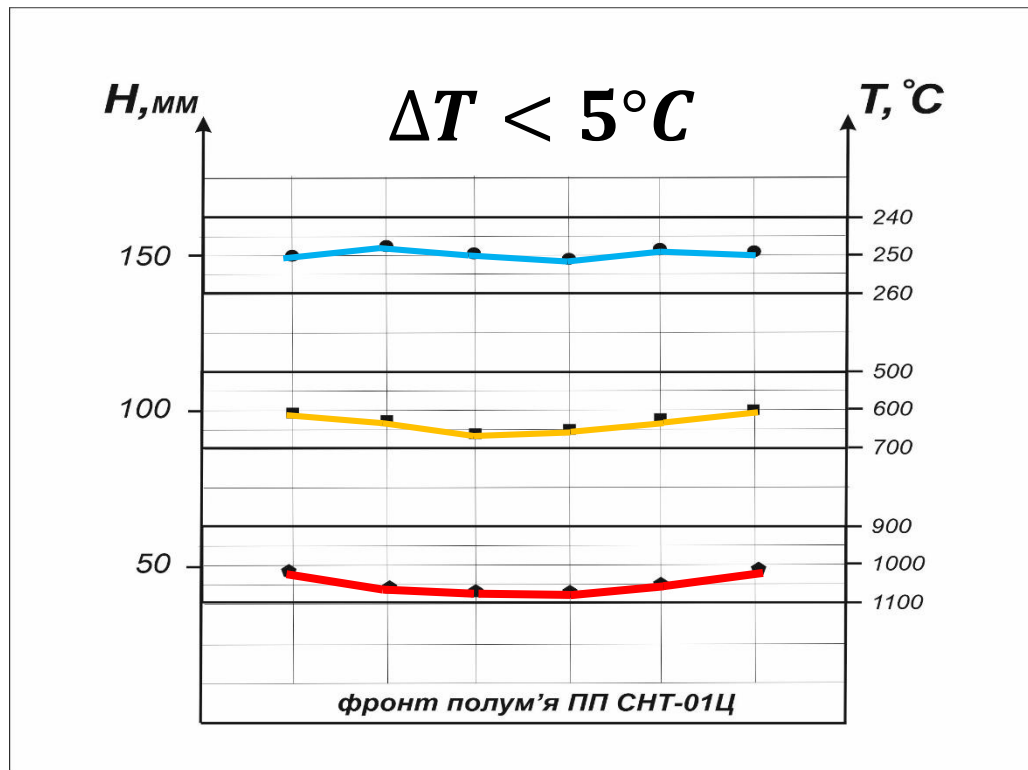


Рис.6.37 Графік залежності температури на поверхні сітки від відстані до фронту полум'я пального СНТ-01Ц

Дані результати вимірювання температури підтверджуються візуальною фіксацією нагрітої сітки, які показують рівномірне світіння поверхні сітки в місцях її контакту з факелом ПП.

6.6 Висновки до розділу 6

В результаті проведених досліджень було отримано пального пристрій, який був перевірений на необхідних витратах газу та відповідає всім вимогам Замовника. Факел не виходить за межі амбразури. Відсутні накиди факелу на обладнання печі. Температури факела відповідають зазначеним у технічному завданні. Конструкція ПП дозволяє при виконанні пуско-налагоджувальних робіт проводити дорегулювання необхідного температурного рівня незначними змінами відстані від амбразури до об'єкта, що нагрівається.

ВИСНОВКИ

Відповідно до мети та завдань дослідження було проведено аналіз літератури присвячений проблемі підвищення рівня ефективності організації топкового процесу в пекарських печах малої потужності, що працюють у діапазоні низьких температур за рахунок створення палинкових пристроїв, що реалізують принципи струменево-нішевої технології. Було з'ясовано, що науково-дослідні центри з вивчення процесів горіння практично у всіх країнах світу продовжують дослідження та розробку нових технологій спалювання газоподібних палив. Проаналізовано принципи роботи струменево-нішевої технології, яка дає змогу модернізувати низькотемпературні печі малої потужності. Описано організацію топкового процесу за допомогою імпульсного режиму роботи ПП. Зроблено огляд конструкцій низькотемпературних печей малої потужності в харчовій промисловості та технологічних вимог до них.

Для вирішення завдань дослідження була вироблена методологія та методика проведення досліджень, яка передбачала експериментальні дослідження у лабораторних умовах, математичне моделювання та проведення досліджень у промислових умовах. Методики проведення досліджень на експериментальних стендах та методики обробки експериментальних даних, що використовувались при проведенні досліджень, багато років розроблялися, апробувалися та вдосконалювалися у лабораторії горіння теплоенергетичного факультету Київського політехнічного інституту.

Була проведена оцінка похибок вимірювання приладових вимірювань: похибка визначення витрати та тиску палива; похибка вимірювання температурних характеристик; похибка вимірювання емісійних характеристик.

При проведенні досліджень організації топкового процесу промислово-експериментальної печі на фабриці «HAAS MEINCKE» було виявлено що палиник

працює в режимі великого горіння протягом контрольованого проміжку часу і потім циклічно перемикається в режим малого горіння або повністю вимикається. Цей цикл повторюється в середньому раз в 2,5 хвилини і проміжок часу, коли пальник працює в режимі "великого" горіння, потім в режимі "малого" горіння або є відключений, керується процесорним контролером. Включення та відключення ПП відбувається з чітким часовим інтервалом. Тобто спостерігається імпульсний режим, при якому ПП, згідно з отриманими та обробленими результатами вимірювань, працює в режимі оптимального навантаження лише 40% вибіркового часового інтервалу. Решту часу пальник працює або на часткових навантаженнях, що не є економічними, або не працює зовсім. Але під час в інтервалі між погасанням факелу та перекриттям газоподаючого клапану через пальник в атмосферу їде газ, який не підпалюється по причині відсутності факелу. Враховуючи неможливість підтримки системою автоматики необхідного співвідношення газ-повітря на перехідних режимах, включення та вимикання ПП (перехід на режим і вихід з режиму) було зафіксовано викиди незгорілого метану та викидами чадного газу CO, які значно перевищують міжнародні нормативи, що в свою чергу свідчить про небезпеку загазованості та створення вибухонебезпечної ситуації.

В результаті проведених досліджень печі випалу вапна КМ-14 (аглофабрика ММК ім. Ілліча; м. Маріуполь) були вперше експериментально отримані дані по роботі базового модуля СНТ на промисловому обладнанні. Було здійснено модернізацію печі КМ-14 з повною заміною горна та встановлення на ньому замість одного штатного пальника шести пальникових пристроїв СНТ-11. Отримано економічний ефект 50%.

Випробування дозволили визначити діапазон стійкої роботи ПП та провести його порівняння зі діапазоном роботи штатного ПП печі для випікання кексів на данській фабриці HAAS MEINCKE. Проведено аналіз ефективності можливої модернізації печі випічки кексів при можливій модернізації печі із заміною штатного пальника на ПП СНТ-11. Розраховано результати передбачуваної

модернізації.

Проведено дослідження особливостей організації топкового процесу печей випічки вафельного листа GOCMEN на основі мікрофакельної технології спалювання, яка реалізується за допомогою великої кількості газових форсунок невеликого розміру з малими діаметрами газороздаючих отворів.

Дослідження роботи даної печі виявило наступні особливості застосування мікрофакельної технології:

- у процесі роботи печі отвори забиваються сажею в зв'язку з недостатнім сумішоутворенням паливної суміші, що кардинально впливає на роботу всіх форсунок і призводить до росту довжини факелів та накиду їх на технологічне обладнання печі. Це веде до виходу з ладу шасі візків вафельниць.
- Зростання довжини факелів та накид їх на технологічне обладнання призводить до нерівномірності розподілу температур по поверхні вафельниць, що в свою чергу веде до зниження якості готової продукції.

Запропоновано схему модернізації даних печей на основі струменево-нішевої технології. Виконано попередній розрахунок пальника на основі базового струменево-нішевого модуля. Необхідна кількість та потужність застосовуваних пальників були розраховані виходячи з технологічної витрати печі та з характерних особливостей структури течій та формування факела пальникових пристроїв СНТ.

В результаті комп'ютерного моделювання аеродинаміки течій пальнику з циліндричним пілоном та проведених досліджень на експериментальних стендах НВО СНТ та лабораторії КПП було отримано пальниковий пристрій с амбразурою (внутрішня поверхня якої відтворює певну ділянку лемніскати Бернуллі), який був перевірений на необхідних витратах газу. Встановлено, що технічні характеристики даного ПП відповідають всім вимогам Замовника: факел не виходить за межі амбразури; відсутні накиди факелу на обладнання печі; температури факела відповідають зазначеним у технічному завданні. Конструкція ПП дозволяє при виконанні пуско-налагоджувальних робіт проводити дорегулювання необхідного

температурного рівня незначними змінами відстані від амбразури до об'єкта, що нагрівається.

В результаті виконаної роботи була отримана наступна наукова новизна:

1. Вперше докладно досліджено широко розповсюджений імпульсний режим роботи пальникових пристроїв та печей. Виявлено, що в нестаціонарний період роботи ПП в продуктах згоряння мають місце: незгорілий метан (близько 20% від загальної витрати), наднормативні викиди чадного газу СО (близько 16% часу роботи ПП) та недопустима зміна температурного рівня в топковому просторі.

2. Вперше досліджено вплив крайових ефектів на базовому плоскому модулі СНТ при зменшенні ширині його газорозподіляючої поверхні до виявленого критичного розміру 50 мм, що забезпечує теплову потужність в 10 кВт.

3. Вперше встановлено вплив конструктивних параметрів циліндричного пілона з паливорозподільчою системою на робочий процес пальникового пристрою та виявлено критичне значення діаметру пілону в 10 мм, що відповідає певному куту в 22 градусі між осями газороздаючих отворів. При цьому теплова потужність становить 4 кВт.

4. Вперше реалізовано можливість роботи циліндричного модуля з довжиною факела не більше 2 калібрів пальникового модуля, за рахунок профілювання амбразури.

5. Заповнено типоряд ПП СНТ по потужності: від 40 000 кВт до 4 кВт, яка забезпечує існуючі потреби вогнетехнічного опалення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Chung L. Combustion energy frontier research center (CEFRC) final report (August 1, 2009 – July 31, 2016). Princeton Univ., NJ (United States), 5. 70 p. URL: <https://doi.org/10.2172/1355751> (date of access: 05.05.2017).
2. Experimental study and kinetic analysis of the laminar burning velocity of NH₃/syngas/air, NH₃/CO/air and NH₃/H₂/air premixed flames at elevated pressures. / S. Wang et al. Combustion and Flame. 2020. No. 221. P. 270–287.
3. Wang X., Liu Y., Huang Y. Effect of the ignition location on lean light-off limits for a gas turbine combustor. Combustion and Flame. 2022. No. 245. 112295. URL: <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2022.112295> (date of access: 01.02.2023).
4. Luna S., Egolfopoulos F. N. Local effects in vortex-flame interactions: Implications for turbulent premixed flame scaling and observables. Combustion and Flame. 2022. No. 245. 112293.
5. Le Boursicaud M., Carbajal-Carrasco L. A., Bouali Z. Optimized two-step (OTS) chemistry model for the description of partially premixed combustion. Combustion and Flame. 2022. No. 245. 112287.
6. Дослідження, пов'язані з горінням, у Німеччині, Швейцарії та Австрії.: веб-сайт. URL: <https://www.combustioninstitute.de/forschung.php> (дата звернення: 12.07.2023).
7. Вплив теплопровідності багат шарових покриттів на температурні режими мікрофакельних пальників / Н. М. Фіалко та ін. *Interaction of society and science: problems and prospects*. 2021. № 3. С. 439.
8. Сміхула А. В. Технологічні засади реконструкції котельного обладнання з метою зниження витрат природного газу та поліпшення екологічних показників: наукове повідомлення на засіданні Президії НАН України 15 лютого 2012 року. Вісник Національної академії наук України. 2012. № 6. С. 57–61.
9. Щетинків Е. Фізика горіння газів. Физматгиз, 1965. 740 с.

10. Law C. K. Combustion Physics, Cambridge University Press, New York 2006.
11. Франк-Каменецкий Д.А. До теорії мікродифузійного горіння. -Праці НДІ - 1.- Оборонгиз, 1946. - С. 1-9.
12. Франк-Каменецкий Д., Мінський Є. Мікродифузійне турбулентне горіння. Доповіді АН СРСР. 50-те вид. 1950. С. 353–354.
13. Корнєєв В., Хзмалян Д. Мікрофакельне горіння. Промислова енергетика. 1948. № 1. С. 34–37.
14. Гейдон А. Спектроскопія та теорія горіння. Вид-во інозем. літ., 1950. 308 с.
15. Лоутон Дж., Вайнберг Ф. Електричні аспекти горіння. Енергія, 1976. 296 с.
16. Зельдович Я., Баренблатт Г., Махвіладзе Г. Математична теорія горіння та вибуху. Наука, 1938. 479 с.
17. Трубніков В. Підвищення ефективності роботи парових та водогрійних котлів. Автоматика – 2015 : матеріали XXII Міжнар. конф. з автомат. упр., м. Одеса, 10 верес. 2015 р. Одеса, 2015. С. 122–123.
18. Сігал І., Домбровська Е., Смухіна та ін А. Аналіз стану котельного господарства України з метою модернізації, продовження ресурсу чи заміни котлів малої і середньої потужності. Екотехнологии и ресурсосбережение. 2003. № 6. С. 76–79.
19. Ткаченко О. О. Високотемпературні процеси та установки. Ч. 1. : підручник. Харків : Ранок, 2008. 336 с.
20. Ткаченко О. О. Високотемпературні процеси та установки. Ч. 2. : підручник. Харків : Ранок, 2008. 160 с.
21. Абдулін М. Підвищення ефективності топкового процесу низькотемпературних печей малої потужності. Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. 2023. №1–2(13–14). С. 55–60.

22. Абдулін М., Джамал І. Дослідження пальникового пристрою з поперечною подачею струменів палива. *Екотехнологии и ресурсосбережение*. 1997. № 2. С. 68–69.
23. Глухарєв Ю., Дубовик В. Досвід впровадження пальникових пристроїв типу СНД на основі струминно-нішевої технології спалювання палива. *«Новини теплопостачання»*. 2003. № 11. С. 20–21.
24. Абдулін М., Дубовик В. Струменево-нішева технологія спалювання палива на об'єктах муніципальної енергетики. *«Новини теплопостачання»*. 2004. № 11. С. 19–22.
25. Математичне моделювання динаміки перебігу та сумішоутворення при спалюванні палива в пальникових пристроях струменево-нішевого типу / Н. Фіалко та ін. *Промислова теплотехніка*. 2009. Т.31, № 7. С. 24–29.
26. Комп'ютерне моделювання процесу сумішоутворення в пальникових пристроях стабілізаторного типу з подачею газу впровадженням в потоці повітря / Н. Фіалко та ін. *Промислова теплотехніка*. 2011. № 11. С. 51–57.
27. Абдулін М. Струменево-нішева система сумішоутворення та стабілізації полум'я : автореф. дис. ... канд. : 05.04.01. Київ. : КПП, 1986. 20 с.
28. Абдулін М., Сірий О. Принципи організації робочого процесу камер згоряння. *Авіаційно-космічна техніка та технологія*. 2014. № 35. С. 22–25.
29. Христич В., Любчик Г. Дифузійне горіння газових струменів, що взаємодіють із поперечними газовими струменями. *Теорія та практика спалювання газу*. 1970. Вип. II. С. 79–91.
30. Гавриш С. Дослідження робочого процесу струминних газопальникових пристроїв : автореф. Дис. на здобуття вченої. ступеня канд. техн. наук. Київ. : КПП, 1974. 136 с.
31. Христич В., Любчик Г., Піндрус А. Результати досліджень та доведення на природному газі камер згоряння газотурбінної установки ГТУ – 9 КТЗ. *Теплоенергетика*. 1969. № 3. С. 52–57.

32. Любчик Г., Мікулін Г., Варламов Г. Використання конструктивних особливостей та аеродинамічних ефектів насадок Бордо при створенні малотоксичних топливоспалюючих модулів. Технологічні системи. 2002. № 2, вип. 1. С. 130–133.
33. Мікулін Г., Любчик Г., Варламов Г. Використання трубчастих модулів як елементів інтенсифікації горіння та підвищення енерго-екологічної ефективності газових пальників. Экотехнологии и ресурсосбережение. 2003. № 4. С. 58–65.
34. Абдулін М., Гребінна М., Сірий О. Підвищення ефективності енергетичного обладнання. Матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, м. Київ, 21 трав. 2015 р. С. 103–106.
35. Способ сжигания природного газа в набегающем потоке воздуха : пат. 005471 : F23D 14/00, 14/62. № 200300744 ; заявл. 30.01.2002 ; опубл. 24.06.2004, Бюл. № Бюллетень № 03.
36. Абдулін М., Дворцін Г., Жученко А. Технологія спалювання – визначальний чинник ефективності вогнетехнічних об'єктів. Науково-технічний журнал "Новини теплопостачання". 2009. С. 23–27.
37. Абдулін М., Петренко В. Досвід впровадження струменево-нішевої технології спалювання палива на об'єктах промислової та комунальної енергетики. Комплексне вирішення проблем енергозбереження у промисловій та комунальній енергетиці: Зб. доп., м. Ялта. 2009. С. 28–30.
38. Абдулін М. Струменево-нішева технологія спалювання палива - основа надійної роботи вогнетехнічного обладнання. Енергоефективність великого промислового регіону. (Україна, Донецьк). 2008. Зб. наук. тр. С. 18–24.
39. Абдулін М. Маловитратна модернізація існуючого паливного обладнання на основі застосування струминно-нішевої технології спалювання палива. Енергозбереження, екологія, ефективність. Шляхи зниження енергозалежності України. : Матеріали міжнар. конф., м. Київ. 2007. С. 18–22.
40. Науково-технічний досвід апробації струменево-нішевої технології

спалювання палива на об'єктах промислової та комунальної енергетики / М. Абдулін та ін. "Проблеми промислової теплотехніки" : Матеріали V Міжнар. конф. Київ, 2007. С. 31–36.

41. Малозатратна модернізація існуючого паливовикористовуючого обладнання на основі використання струйно-нішевих технологій згорання палива / М. Абдулін «Енергозбереження: технології та інвестиції» : Матеріали IX конференції. Одеса, 2006. С. 31–35.

42. Абдулін М., Дворцін Г., Жученко А. Універсальна технологія спалювання - це реальність. Підвищення надійності та ефективності експлуатації електричних станцій та енергетичних систем. НДУ МЕІ, 2010. С. 29–32.

43. Абдулін М., Сірий О., Назарова І. Вітчизняні енергоефективні технології – запорука енергетичної безпеки держави. Актуальні задачі сучасних технологій. : Матеріали III Міжнар. науково-техн. конф. молодих уч. та студентів, м. Тернопіль, 19 листоп. 2014 р. С. 231–232.

44. Любчик Г. Розробки НДВ Проблем горіння НТУУ «КПІ» у напрямі створення передових технологій спалювання палив. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2006. № 1. С. 83–91.

45. Абдулін М. Деякі аспекти підвищення економічності та екологічної безпеки пальникових пристроїв/. Енергетика, економіка, технологія. 2000. № 4. С. 65–68.

46. Іванов Ю. Газопальникові пристрої. Надра, 1972. 276 с.

47. Кривоногов Б. Підвищення ефективності спалювання газу та охорона навколишнього середовища. Надра, 1986. 280 с.

48. Дослідження закономірностей вигорання палива за кутовими стабілізаторами полум'я / Л. Бутовський та ін. Теорія та практика спалювання газу. 1975. С. 324–338.

49. Іссерлін А. Основи спалювання газового палива. Надра, 1980. 336 с.

50. Абдулін М. Застосування струминно-нішової технології спалювання палива в енергетичних установках. Енергетичні та теплотехнічні процеси та обладнання. 2005. № 6. С. 130–144.

51. Абдулін М., Джамал І. Дослідження пальникового пристрою з поперечною подачею струменів палива. Екологія та ресурсозбереження. 1997. № 2. С. 70–71.
52. Глухарев Ю., Дубовик В. Досвід застосування пальникових пристроїв типу СНД на основі струминно-нішевої технології спалювання палива. «Новини теплопостачання». 2003. № 11. С. 20–21.
53. Абдулін М., Дубовик В. Струменево-нішева технологія спалювання палива на об'єктах муніципальної енергетики. «Новини теплопостачання». 2004. № 11. С. 19–22.
54. Абдулін М. Застосування струминно-нішевої технології спалювання палива в енергетичних установках. Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ": зб. наук. тр. Темат. вип. : Енергетичні та теплотехнічні процеси та обладнання. Харків: НТУ "ХПІ". 2005. № 6. С. 130–144.
55. Khedia K., Ghoniem A. Mechanisms of stabilization and blowoff of a premixed flame downstream of a heat-conducting perforated plate. Combustion and Flame. Elsevier. 2012. Vol. 159, DOI:10.1016/j.combustflame.2011.10.014. P. 1055–1069.
56. Крайнов А., Моїсєєва К. Вплив швидкості газу на стійкість горіння метаноповітряної суміші в щілинному пальнику з внутрішньою вставкою. Вісник томського державного університету. 2015. № 1 (33). С. 63–71.
57. Тайманов М., Шарипов М. Котел пульсирующего горения природных и пиролизных газов. 2017. 121 с.
58. Полум'я, що розділяються у вузькому каналі з градієнтом температур у стінках / С. Мінаєв та ін. Фізика горіння та вибуху. 2009. № 2 (45). С. 12–19.
59. Hamed A., Kamal M. Characteristics of hollow bluff body-stabilized natural gas-air premixed flames with heat recirculation. Fuel, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126430>. 2023. Volume 333, Part 2. 126430.
60. Aerodynamic characteristics of transonic and supersonic flow over rectangular cavities / D. Guo Yang et al. Flow, Turbulence and Combustion. 2010. P. 639–652.
61. Сігал І., Сміхула А. Викид СО при спалюванні природного газу в котлах

- великих котелних та ТЕЦ. Опалення, водопостачання, вентиляція. 2006. № 1. С. 41–43.
62. Вулис Л., Ершин Щ., Ярин Л. Основи теорії газового факелу. Енергія, 1968. 204 с.
63. Кнорре Г., Блох А., Арефьев К. Теорія топкових процесів. Енергія, 1968. 492 с.
64. Канторович Б. Гідродинаміка і теорія потоку палива. 1971. 430 с.
65. Баев В., Головичев В., Ісаков В. Двовірні турбулентні течії реагуючих газів. 1976. 262 с.
66. Красницький В., Філімонов М., Фрост В. Математичні описання турбулентного горіння. Питання теорії горіння. 1970. С. 7–17.
67. Вилунов В., Дік І. Про вплив турбулентності на теплообмін, структуру і хімічне реагування в полум'ї. ФГВ. 1977. ІЗ, №3. С. 359–366.
68. Зімонт В. До розрахунку турбулентного горіння частково перемішаних газів. Горіння гетерогенних та газових систем. 1997. С. 76–80.
69. Іванов Ю. Основи розрахунку і проектування газових пальників. Гостоптехиздат, 1963. 360 с.
70. Поляцкин М., Афросимова В. Експериментальне дослідження роботи пальникових пристроїв на ізотермічних та гарячих моделях. Досвід спалювання газу та мазуту на електростанціях. 1968. С. 100–115.
71. Дослідження роботи топки котла ТП-100 з потужними пилемазутними пальниками / Б. Кацнельсон та ін. Теплоенергетика. 1978. № 2. С. 31–36.
72. Шрадер І., Шилов В. Вогневе моделювання топкової установи парового котла П-67. Теплоенергетика. 1981. № 1. С. 41–44.
73. Ахмедов Р., Цирюльников Л. Технології спалювання газу та мазуту в парогенераторах. Недра, 1976. 272 с.
74. Еринов А., Сорока Б. Раціональні методи спалювання газового палива в нагрівних печах. Київ : Техніка, 1970. 159 с.

75. Хзмалян Д., Каган Я. Теорії горіння топкової установки. Енергія, 1976. 487 с.
76. Іванов Ю. Газопальникові пристрої. Надра, 1972. 375 с.
77. Хітрін Л. Теорія горіння та питання інтенсифікації процесів спалювання. Проблеми енергетики. 1959. С. 605–636.
78. Вулліс Л., Ярін Л. Аеродинаміка факелу. Енергія, 1978. 216 с.
79. Вільямс Ф. Теорія горіння. Наука, 1971. 615 с.
80. Арсеньєв А. Спалювання природного газу. Металургія, 1965. 480 с.
81. Варнатц Ю., Маас У., Діббл У. Горіння. Фізичні та хімічні аспекти, моделювання, експерименти, утворення забруднюючих речовин / ред. П. Власов ; пер. з англ. Г. Агафонова. Фізматліт, 2003. 352 с.
82. Щолкін К., Трошин Я. Газодинаміка горіння. Вид-во АН СРСР, 1963. 256 с.
83. Іссерлін А. Основи спалювання газового палива. Надра, 1987. 336 с.
84. Крижанівський В. Структура та розрахунок турбулентного факела. Вісник КПІ. Теплоенергетика. 1974. № 11. С. 3–7.
85. Baukal C. E. Industrial Burners Handbook (Industrial Combustion). Нью Йорк : CRC Press LLC, 2003. 770 p.
86. Gülder Ö. L., Gülder G. The Use of CFD for Furnace Design and Operation. Heat Transfer Engineering. 2012. No. 33(5-6). P. 377–386.
87. CFD Analysis of the Effect of Burner Operating Conditions on Emissions in a Pilot Scale Furnace / A. V. Jové et al. Energy Procedia. 2014. No. 45. P. 1080–1089.
88. Ragland K. W., Bryden K. M. Combustion Engineering. McGraw-Hill, 1998. 613 p.
89. Baukal Jr C. E. Industrial Combustion Testing. NY : CRC Press, 2010. 784 p.
90. Тарасюк В. Експлуатація котлів. Київ : Основа, 1999. 282 с.
91. Бірюков А. Б., Гнітієв П. А. Вивчення гідродинамічних параметрів роботи пристроїв, призначених для створення низькочастотної пульсуючої витрати газоподібних середовищ. МЕТАЛ І ЛИТТЯ УКРАЇНИ. 2014. № 2 (249). С. 32-35.

92. Паулонис Дж. Дж., Холл Б., Фраме К. Е. Импульсное управление горелками. УКРСПЕЦТЕХНИК. URL: <http://ustic.com.ua/impulsnoe-upravlenie-gorelkami.html> (дата звернення: 12.03.2020).
93. Ткаченко С. Й., Чепурний М. М., Л. А. Боднар. Високотемпературні процеси та установки. Теорія, практика, індивідуальна та самостійна робота студентів. Вінниця : ВНТУ, 2016. 110 с.
94. Маслов В. А. Паливоспалювальні та теплогенеруючі пристрої. Маріуполь : ПДТУ, 2002. 224 с.
95. Щукін А. А. Промислові печі та газове господарство заводів. Енергія, 1973. 224 с.
96. Бакластов А. М., Бродяньський В. М., Голубєв та ін Б. П. Промислова теплоенергетика та теплотехніка: довідник / ред.: В. А. Григор'єв, В. М. Зорін. Енергоатоміздат, 1983. 552 с.
97. Berk Z. Frying, baking, and roasting. In: Food Process Engineering and Technology. New York : Elsevier, 2009. 605 p.
98. Color changes in fish during grilling – Influences of heat transfer and heating medium on browning color / H. Matsuda et al. Journal of Food Engineering. 2013. Vol. 116, no. 1. P. 130–137. URL: <https://doi.org/DOI:10.1016/j.jfoodeng.2012.11.027>.
99. Effect of microwave assisted baking on quality of rice flour bread. / N. Therdthai et al. Food Qual. 2016. No. 39. P. 245–254.
100. Effect of butter content and baking condition on characteristics of the gluten-free dough and bread / C. Srikanlaya et al. International Journal of Food Science and Technology. 2017. No. 52. P. 1904–1913. URL: <https://doi.org/10.1111/ijfs.13467> (date of access: 10.09.2023).
101. Shevade S., Rahman M., Guldiken R. Optimization of turbulent air jet impingement for energy efficient commercial cooking. Energy Procedia. 2019. No. 160. P. 691–698. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.191> (date of access: 12.07.2023).

102. Further investigations on energy saving by jet impingement in bread baking process / X.-D. Li et al. Proceedings of the 5th IFAC Symposium on System Structure and Control, Grenoble, 4–6 February 2013.
103. Davidson I. Baking oven. Biscuit, Cookie and Cracker Production. 2018. P. 75–91. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815579-0.00009-X>. (date of access: 01.06.2023).
104. Сірий О.А. Вплив параметрів струменево-нішевої системи на робочий процес пальникових пристроїв : дис. ...канд. тех. наук : 05.14.14. Київ, 2016. 195 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 - Теплофізичні характеристики промислових горючих газів

Властивість газу	Одиниця	Газ					
		Метан	Пропан	Бутан	Водень	СО	Ацетилен
Густина	кг/м ³	0,717	2,004	2,703	0,090	1,250	1,171
Межа поширення полум'я:							
-нижча С _н	об. %	5,0	2,2	1,9	4,1	12,5	2,5
-вища С _в	об. %	15,0	9,5	8,5	75	74	81
Температура запалення t _{зап}	°С	645 - 850	530 - 568	490 - 569	530 - 596	610 - 658	335-500
Нормальна швидкість розповсюдження полум'я U _{нmax}	см/с	29-33,8	39	37,9	315	-	170
Стехіометричний коефіцієнт:							
-L _V	м ³ /м ³	9,52	23,9	31,0	2,38	2,38	11,9
-L _O	кг/кг	17,23	15,7	15,46	34,5	2,47	13,25
Нижча теплота згоряння Q _н ^P	мДж/м ³	35,8	96,0	118,7	10,76	12,56	56,0
Температура горіння T _{Гmax}	°С	2040	2155	2118	2240	2378	2660
Енергія запалювання, Q _{зап}	мДж	0,48	0,39	0,38	0,019	-	-

ДОДАТОК Б

Класифікація ПП конструкції кафедри теплової та альтернативної енергетики
(ТАЕ) навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики
НТУУ «КПІ ім. Сікорського»



Uhrzeit	Zähler	Zeit	AT	O2	CO	Nox	CO	Counv	Lambda	qA	Gaszähler
hh:mm:ss		min:sec	°C	%	mg/m3	mg/m3	ppm	ppm	-	%	
13:18:35	0	0:00	244,3	3,2	0	70,5	0	0	1,18	10,3	1 767,96
13:18:37	1	0:02	243,2	3,3	0	70,9	0	0	1,19	10,3	1 767,96
13:18:39	2	0:04	244,3	3,4	0	71,1	0	0	1,19	10,3	1 767,97
13:18:41	3	0:06	243,3	3,5	0	71,5	0	0	1,2	10,3	1 767,97
13:18:43	4	0:08	220,6	3,7	0	72,3	0	0	1,21	9,3	1 767,98
13:18:45	5	0:10	215	3,9	0	72,7	0	0	1,23	9,1	1 767,99
13:18:47	6	0:12	210,8	5,5	0	68,5	0	0	1,35	9,7	1 767,99
13:18:49	7	0:14	210,1	6,9	0	65,9	0	0	1,49	10,4	1 767,99
13:18:51	8	0:16	208,2	11,8	12	56,9	5	11	2,28	14,8	1 768,00
13:18:53	9	0:18	207,6	14,6	35	52,7	10	33	3,28	20,4	1 768,00
13:18:55	10	0:20	206,8	17,4	119	49,5	19	111	5,83	34,7	1 768,00
13:18:57	11	0:22	206,1	18,9	279	49,8	26	260	10	58	1 768,01
13:18:59	12	0:24	205,3	19,5	390	49,1	26	364	14	80,1	1 768,01
13:19:01	13	0:26	204,3	20	540	58,1	24	504	21	118,6	1 768,01
13:19:03	14	0:28	203,3	20,3	-	-	19	-	-	-	1 768,01
13:19:05	15	0:30	203,2	20,5	-	-	15	-	-	-	1 768,01
13:19:07	16	0:32	201,9	20,6	-	-	11	-	-	-	1 768,02
13:19:09	17	0:34	200,9	20,7	-	-	8	-	-	-	1 768,02
13:19:11	18	0:36	200,5	20,7	-	-	7	-	-	-	1 768,02
13:19:13	19	0:38	200,1	20,7	-	-	5	-	-	-	1 768,02
13:19:15	20	0:40	198,4	20,8	-	-	4	-	-	-	1 768,02
13:19:17	21	0:42	196,5	20,8	-	-	3	-	-	-	1 768,02
13:19:19	22	0:44	197,8	20,8	-	-	2	-	-	-	1 768,02
13:19:21	23	0:46	198,6	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,02
13:19:23	24	0:48	198,1	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,02
13:19:25	25	0:50	196,9	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,02
13:19:27	26	0:52	195,8	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,02
13:19:29	27	0:54	195,3	20,8	-	-	0	-	-	-	1 768,03
13:19:31	28	0:56	195,2	20,8	-	-	0	-	-	-	1 768,03
13:19:33	29	0:58	194,4	20,8	-	-	0	-	-	-	1 768,03
13:19:35	30	1:00	193,5	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,03
13:19:37	31	1:02	192,8	20,8	-	-	2	-	-	-	1 768,03
13:19:39	32	1:04	192,2	20,8	-	-	2	-	-	-	1 768,03
13:19:41	33	1:06	191,4	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,03
13:19:43	34	1:08	189,1	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,03
13:19:45	35	1:10	189,8	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,03
13:19:47	36	1:12	191,3	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,03
13:19:49	37	1:14	192,6	20,8	-	-	0	-	-	-	1 768,03
13:19:51	38	1:16					1	-	-	-	1 768,03
13:19:53	39	1:18				49,3	7	134	19,09	100,5	1 768,03
13:19:55	40	1:20	197,2	18,1	310	18,7	40	290	7,24	40,3	1 768,04
13:19:57	41	1:22	201,6	16,5	430	14,6	86	401	4,67	27,3	1 768,04
13:19:59	42	1:24	207,7	14,7	525	27,7	147	490	3,33	20,7	1 768,05
13:20:01	43	1:26	217	11,7	561	60,4	232	524	2,26	15,4	1 768,05
13:20:03	44	1:28	221,6	9,7	524	71,7	263	489	1,86	13,3	1 768,06

13:20:05	45	1:30	228,4	7,5	430	75,5	258	401	1,56	11,9	1 768,07
13:20:07	46	1:32	229,4	6,4	353	74,8	229	329	1,44	11,2	1 768,07
13:20:09	47	1:34	229,6	5,2	249	73,3	175	233	1,33	10,5	1 768,08
13:20:11	48	1:36	231,1	4,4	188	71,7	139	176	1,27	10,2	1 768,09
13:20:13	49	1:38	231,4	3,8	141	70,5	108	132	1,22	9,9	1 768,09
13:20:15	50	1:40	234,5	3,2	90	68,8	71	84	1,18	9,8	1 768,10
13:20:17	51	1:42	233,8	3	69	68,2	55	64	1,17	9,6	1 768,11
13:20:19	52	1:44	235,2	2,8	46	67,7	37	43	1,15	9,6	1 768,11
13:20:21	53	1:46	235,8	2,8	36	67,9	29	33	1,15	9,7	1 768,12
13:20:23	54	1:48	237,3	2,7	22	67,8	18	21	1,15	9,7	1 768,13
13:20:25	55	1:50	238,4	2,6	15	68	12	14	1,14	9,7	1 768,13
13:20:27	56	1:52	238,2	2,6	12	68,2	10	11	1,14	9,7	1 768,14
13:20:29	57	1:54	239,7	2,6	9	68,2	7	8	1,14	9,8	1 768,15
13:20:31	58	1:56	240,4	2,6	6	68,2	5	6	1,14	9,8	1 768,16
13:20:33	59	1:58	240,4	2,6	4	68	3	3	1,14	9,8	1 768,16
13:20:35	60	2:00	241,2	2,7	2	68,6	2	2	1,15	9,9	1 768,17
13:20:37	61	2:02	240,9	2,7	2	68,8	2	2	1,15	9,8	1 768,18
13:20:39	62	2:04									
13:20:41	63	2:06	242,6	2,8	1	69	1	1	1,15	10	1 768,19
13:20:43	64	2:08	242,4	2,9	0	69,4	0	0	1,16	10	1 768,20
13:20:45	65	2:10	241,3	3	0	70	0	0	1,17	10	1 768,20
13:20:47	66	2:12	242,8	3,1	0	70,3	0	0	1,17	10,1	1 768,21
13:20:49	67	2:14	244	3,3	0	70,9	0	0	1,19	10,3	1 768,22
13:20:51	68	2:16	243,7	3,3	0	70,9	0	0	1,19	10,3	1 768,22
13:20:53	69	2:18	243,8	3,4	0	71,3	0	0	1,19	10,3	1 768,23
13:20:55	70	2:20	244,5	3,4	0	71,3	0	0	1,19	10,3	1 768,24
13:20:57	71	2:22	245,4	3,5	0	71,5	0	0	1,2	10,4	1 768,24
13:20:59	72	2:24	226,6	3,7	0	72,8	0	0	1,21	9,6	1 768,25
13:21:01	73	2:26	223	3,7	0	72,8	0	0	1,21	9,4	1 768,25
13:21:03	74	2:28	214	4,1	0	73,4	0	0	1,24	9,2	1 768,26
13:21:05	75	2:30	210,4	6,5	2	67,9	1	1	1,45	10,2	1 768,26
13:21:07	76	2:32	209,3	9,8	4	61,9	2	4	1,88	12,5	1 768,26
13:21:09	77	2:34	208,5	12,9	14	56,9	5	13	2,59	16,6	1 768,27
13:21:11	78	2:36	207,7	16,3	67	52,8	14	63	4,47	27,1	1 768,27
13:21:13	79	2:38	206,5	18,3	200	51,7	24	187	7,78	45,6	1 768,27
13:21:15	80	2:40	205,7	19,2	338	53,8	27	315	11,67	67,1	1 768,28
13:21:17	81	2:42	205,3	19,7	450	56,6	26	420	16,15	92,1	1 768,28
13:21:19	82	2:44	204,2	20,2	-	-	21	-	-	-	1 768,28
13:21:21	83	2:46	203,7	20,4	-	-	18	-	-	-	1 768,28
13:21:23	84	2:48	202,4	20,6	-	-	14	-	-	-	1 768,28
13:21:25	85	2:50	201,6	20,7	-	-	9	-	-	-	1 768,28
13:21:27	86	2:52	201,2	20,7	-	-	8	-	-	-	1 768,29
13:21:29	87	2:54	200,6	20,7	-	-	5	-	-	-	1 768,29
13:21:31	88	2:56	199	20,8	-	-	3	-	-	-	1 768,29
13:21:33	89	2:58	198	20,8	-	-	2	-	-	-	1 768,29
13:21:35	90	3:00	196,9	20,8	-	-	2	-	-	-	1 768,29
13:21:37	91	3:02	198,7	20,8	-	-	2	-	-	-	1 768,29

13:21:39	92	3:04	198,2	20,8	-	-	2	-	-	-	1 768,29
13:21:41	93	3:06	197,4	20,8	-	-	2	-	-	-	1 768,29
13:21:43	94	3:08	196,8	20,8	-	-	2	-	-	-	1 768,30
13:21:45	95	3:10	196,1	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,30
13:21:47	96	3:12	195,5	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,30
13:21:49	97	3:14	195	20,8	-	-	0	-	-	-	1 768,30
13:21:51	98	3:16	193,9	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,30
13:21:53	99	3:18	193,3	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,30
13:21:55	100	3:20	192,8	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,30
13:21:57	101	3:22	192	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,30
13:21:59	102	3:24	190,9	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,30
13:22:01	103	3:26	189,5	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,30
13:22:03	104	3:28	189,7	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,30
13:22:05	105	3:30	191,8	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,30
13:22:07	106	3:32	192,6	20,8	-	-	0	-	-	-	1 768,30
13:22:09	107	3:34	192,2	20,5	-	-	1	-	-	-	1 768,30
13:22:11	108	3:36	192,4	19,9	143	59,9	7	134	19,09	100,8	1 768,30
13:22:13	109	3:38	199,6	17,1	329	20,9	57	307	5,38	30,9	1 768,31
13:22:15	110	3:40	204,5	15,3	411	20,4	104	383	3,68	22,3	1 768,31
13:22:17	111	3:42	210,5	13,5	471	39,3	157	440	2,8	18	1 768,32
13:22:19	112	3:44	217,6	11,4	473	60,5	202	442	2,19	15	1 768,32
13:22:21	113	3:46	224,5	8,7	423	73,4	231	394	1,71	12,6	1 768,33
13:22:23	114	3:48	227,3	7,3	366	75,2	223	342	1,53	11,6	1 768,34
13:22:25	115	3:50	228,5	6,3	303	74,9	198	283	1,43	11,1	1 768,34
13:22:27	116	3:52	229,9	5	211	72,6	150	197	1,31	10,4	1 768,35
13:22:29	117	3:54	232,5	4	140	70,7	106	131	1,24	10,2	1 768,36
13:22:31	118	3:56	233,2	3,3	90	68,5	71	84	1,19	9,7	1 768,37
13:22:33	119	3:58	233,5	3,1	78	68,2	62	73	1,17	9,7	1 768,37
13:22:35	120	4:00	234,9	2,8	51	67,5	41	47	1,15	9,6	1 768,38
13:22:37	121	4:02	235,2	2,7	38	67,3	31	36	?	?	1 768,39
13:22:39	122	4:04	235,3	2,7	33	67,3	27	31	1,15	9,6	1 768,40
13:22:41	123	4:06	236,6	2,6	17	67,4	14	16	1,14	9,6	1 768,40
13:22:43	124	4:08	237,3	2,6	15	67,4	12	14	1,14	9,6	1 768,41
13:22:45	125	4:10	238	2,6	9	67,6	7	8	1,14	9,7	1 768,42
13:22:47	126	4:12	239,4	2,6	6	67,8	5	6	1,14	9,8	1 768,42
13:22:49	127	4:14	239,8	2,6	2	67,6	2	2	1,14	9,8	1 768,43
13:22:51	128	4:16	240,4	2,6	1	68,2	1	1	1,14	9,8	1 768,44
13:22:53	129	4:18	240,6	2,6	1	68,4	1	1	1,14	9,8	1 768,44
13:22:55	130	4:20	241,4	2,6	1	68,4	1	1	1,14	9,8	1 768,45
13:22:57	131	4:22	243,4	2,7	1	69	1	1	1,15	10	1 768,46
13:22:59	132	4:24	242,6	2,8	1	69,4	1	1	1,15	10	1 768,46
13:23:01	133	4:26	243	3	1	70	1	1	1,17	10,1	1 768,47
13:23:03	134	4:28	244,7	3,1	0	70,3	0	0	1,17	10,2	1 768,48
13:23:05	135	4:30	244,6	3,2	0	70,7	0	0	1,18	10,3	1 768,48
13:23:07	136	4:32	244,6	3,2	0	71	0	0	1,18	10,3	1 768,49
13:23:09	137	4:34	243,8	3,2	0	71,4	0	0	1,18	10,2	1 768,50
13:23:11	138	4:36	244,4	3,3	0	71,8	0	0	1,19	10,3	1 768,50

13:23:13	139	4:38	243,6	3,4	0	72,2	0	0	1,19	10,3	1 768,51
13:23:15	140	4:40	236	3,6	0	72,6	0	0	1,21	10	1 768,52
13:23:17	141	4:42	224	3,7	0	73	0	0	1,21	9,5	1 768,52
13:23:19	142	4:44	215,2	4	0	73,4	0	0	1,24	9,2	1 768,53
13:23:21	143	4:46	211,9	4,8	0	71	0	0	1,3	9,4	1 768,53
13:23:23	144	4:48	210,3	7,3	3	66,2	2	3	1,53	10,6	1 768,53
13:23:25	145	4:50	208,4	12,1	18	57,5	7	17	2,36	15,2	1 768,54
13:23:27	146	4:52	207,8	14,8	47	53,7	13	44	3,39	21	1 768,54
13:23:29	147	4:54	206,9	17,5	141	50,9	22	132	6	35,6	1 768,54
13:23:31	148	4:56	206,1	18,6	253	53,3	27	236	8,75	50,9	1 768,54
13:23:33	149	4:58	205,1	19,6	450	60,9	28	420	15	85,4	1 768,55
13:23:35	150	5:00	204,6	20	585	65,9	26	546	21	118,6	1 768,55
13:23:37	151	5:02	203,8	20,4	-	-	21	-	-	-	1 768,55
13:23:39	152	5:04	202,4	20,6	-	-	16	-	-	-	1 768,55
13:23:41	153	5:06	202,2	20,6	-	-	12	-	-	-	1 768,55
13:23:43	154	5:08	201,4	20,7	-	-	9	-	-	-	1 768,56
13:23:45	155	5:10	200,9	20,7	-	-	6	-	-	-	1 768,56
13:23:47	156	5:12	199,9	20,8	-	-	5	-	-	-	1 768,56
13:23:49	157	5:14	198	20,8	-	-	4	-	-	-	1 768,56
13:23:51	158	5:16	196,6	20,8	-	-	2	-	-	-	1 768,56
13:23:53	159	5:18	197,7	20,8	-	-	2	-	-	-	1 768,56
13:23:55	160	5:20	198,2	20,8	-	-	2	-	-	-	1 768,56
13:23:57	161	5:22	197,7	20,8	-	-	2	-	-	-	1 768,56
13:23:59	162	5:24	196,9	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,57
13:24:01	163	5:26	196,3	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,57
13:24:03	164	5:28	195,6	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,57
13:24:05	165	5:30	194,9	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,57
13:24:07	166	5:32	193,8	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,57
13:24:09	167	5:34	193,4	20,8	-	-	2	-	-	-	1 768,57
13:24:11	168	5:36	192,9	20,8	-	-	2	-	-	-	1 768,57
13:24:13	169	5:38	192,1	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,57
13:24:15	170	5:40	191,1	20,8	-	-	0	-	-	-	1 768,57
13:24:17	171	5:42	190,6	20,8	-	-	0	-	-	-	1 768,57
13:24:19	172	5:44	189,4	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,57
13:24:21	173	5:46	190,3	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,57
13:24:23	174	5:48	192,2	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,57
13:24:25	175	5:50	191,9	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,57
13:24:27	176	5:52	191,7	20,3	-	-	1	-	-	-	1 768,57
13:24:29	177	5:54	193,1	19,4	197	33,9	14	184	13,12	69,9	1 768,57
13:24:31	178	5:56	199,7	17,2	343	20,4	58	321	5,53	31,6	1 768,58
13:24:33	179	5:58	206,1	14,6	471	29,1	134	440	3,28	20,2	1 768,58
13:24:35	180	6:00	212,2	12,6	496	50,3	185	463	2,5	16,3	1 768,59
13:24:37	181	6:02	218,3	10,6	476	67,1	220	444	2,02	14	1 768,60
13:24:39	182	6:04	224,5	8,1	401	74,8	230	374	1,63	12,1	1 768,60
13:24:41	183	6:06	226,9	6,9	337	75,3	211	314	1,49	11,3	1 768,61
13:24:43	184	6:08	230	5,5	240	74	165	224	1,35	10,7	1 768,62
13:24:45	185	6:10	230,5	4,7	185	73	134	173	1,29	10,3	1 768,62

13:24:47	186	6:12									
13:24:49	187	6:14	233,3	3,3	92	69,4	72	85	1,19	9,8	1 768,64
13:24:51	188	6:16	233,2	2,9	60	67,9	48	56	1,16	9,6	1 768,65
13:24:53	189	6:18	234,2	2,7	44	67,1	36	41	1,15	9,6	1 768,65
13:24:55	190	6:20	234,5	2,7	33	67,3	27	31	1,15	9,6	1 768,66
13:24:57	191	6:22	236,9	2,6	21	67,4	17	19	1,14	9,6	1 768,67
13:24:59	192	6:24	237,6	2,6	16	67,6	13	15	1,14	9,7	1 768,67
13:25:01	193	6:26	239,4	2,6	10	67,8	8	9	1,14	9,8	1 768,68
13:25:03	194	6:28	238,7	2,6	7	68	6	7	1,14	9,7	1 768,69
13:25:05	195	6:30	239	2,6	5	68,2	4	5	1,14	9,7	1 768,69
13:25:07	196	6:32	239,5	2,7	4	68,6	3	3	1,15	9,8	1 768,70
13:25:09	197	6:34	240,5	2,7	2	68,6	2	2	1,15	9,9	1 768,71
13:25:11	198	6:36	242,8	2,7	2	68,6	2	2	1,15	10	1 768,72
13:25:13	199	6:38	241,6	2,7	2	69	2	2	1,15	9,9	1 768,72
13:25:15	200	6:40	241,8	2,7	2	69,2	2	2	1,15	9,9	1 768,73
13:25:17	201	6:42	243	2,8	1	69,4	1	1	1,15	10	1 768,74
13:25:19	202	6:44	-	-	-	-	-	-	-	-	1 768,74
13:25:21	203	6:46	-	-	-	-	-	-	-	-	1 768,75
13:25:23	204	6:48	-	-	-	-	-	-	-	-	1 768,76
13:25:25	205	6:50	243,2	3,2	0	71	0	0	1,18	10,2	1 768,76
13:25:27	206	6:52	243,5	3,3	0	71,1	0	0	1,19	10,2	1 768,77
13:25:29	207	6:54	244,8	3,5	0	72	0	0	1,2	10,4	1 768,78
13:25:31	208	6:56	243,7	3,6	0	71,9	0	0	1,21	10,4	1 768,78
13:25:33	209	6:58	234,5	3,6	0	72,4	0	0	1,21	9,9	1 768,79
13:25:35	210	7:00	220,6	3,8	0	72,8	0	0	1,22	9,3	1 768,79
13:25:37	211	7:02	214,7	4	0	72,7	0	0	1,24	9,1	1 768,80
13:25:39	212	7:04	211,7	4,9	0	71,7	0	0	1,3	9,4	1 768,80
13:25:41	213	7:06	209,1	10,6	9	60	4	8	2,02	13,3	1 768,80
13:25:43	214	7:08	208,7	12,2	15	57,7	6	14	2,39	15,3	1 768,81
13:25:45	215	7:10	207,4	15,9	66	53,9	15	62	4,12	25	1 768,81
13:25:47	216	7:12	207	17,5	122	49,8	19	114	6	35,5	
13:25:49	217	7:14	206	19	270	52,3	24	252	10,5	60,5	
13:25:51	218	7:16	204,6	19,8	431	58,1	23	402	17,5	99	1 768,82
13:25:53	219	7:18	204	20,2	-	-	22	-	-	-	1 768,82
13:25:55	220	7:20	203,5	20,4	-	-	19	-	-	-	1 768,82
13:25:57	221	7:22	202,6	20,6	-	-	14	-	-	-	1 768,82
13:25:59	222	7:24	202,2	20,6	-	-	11	-	-	-	1 768,82
13:26:01	223	7:26	201,1	20,7	-	-	9	-	-	-	1 768,82
13:26:03	224	7:28	200,2	20,7	-	-	7	-	-	-	1 768,83
13:26:05	225	7:30	199,8	20,8	-	-	5	-	-	-	1 768,83
13:26:07	226	7:32	197,9	20,8	-	-	3	-	-	-	1 768,83
13:26:09	227	7:34	196,9	20,8	-	-	2	-	-	-	1 768,83
13:26:11	228	7:36	198,9	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,83
13:26:13	229	7:38	198,9	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,83
13:26:15	230	7:40	197,6	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,83
13:26:17	231	7:42	197,5	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,83
13:26:19	232	7:44	196,2	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,83

13:26:21	233	7:46	195,4	20,8	-	-	2	-	-	-	1 768,84
13:26:23	234	7:48	194,6	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,84
13:26:25	235	7:50	193,9	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,84
13:26:27	236	7:52	193,5	20,8	-	-	0	-	-	-	1 768,84
13:26:29	237	7:54	192,9	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,84
13:26:31	238	7:56	191,9	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,84
13:26:33	239	7:58	191,5	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,84
13:26:35	240	8:00	189,5	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,84
13:26:37	241	8:02	190,9	20,8	-	-	0	-	-	-	1 768,84
13:26:39	242	8:04	192,2	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,84
13:26:41	243	8:06	192,2	20,8	-	-	1	-	-	-	1 768,84
13:26:43	244	8:08	192,1	20,6	-	-					
13:26:45	245	8:10	193	19,5	180	38,7	12				
13:26:47	246	8:12	197,1	18,1	264	20	34	246	7,24	40,2	1 768,85
13:26:49	247	8:14	204,5	15,7	420	19	99	392	3,96	23,8	1 768,85
13:26:51	248	8:16	210,1	13,8	478	36,6	153	446	2,92	18,6	1 768,86
13:26:53	249	8:18	221,7	10,4	458	66,5	216	428	1,98	14,1	1 768,86
13:26:55	250	8:20	224,1	8,7	423	72,8	231	394	1,71	12,5	1 768,87
13:26:57	251	8:22	227,1	7,3	368	74,4	224	343	1,53	11,6	1 768,88
13:26:59	252	8:24	229,2	5,9	276	73,6	185	257	1,39	10,9	1 768,88
13:27:01	253	8:26	230,5	5,1	217	72,9	153	202	1,32	10,5	1 768,89
13:27:03	254	8:28									1 768,90
13:27:05	255	8:30	232,7	3,5	107	69,5	83	100	1,2	9,8	1 768,91
13:27:07	256	8:32	233,1	3,1	79	68,8	63	74	1,17	9,7	1 768,91
13:27:09	257	8:34	233,4	2,9	52	68,3	42	49	1,16	9,6	1 768,92
13:27:11	258	8:36	233,9	2,8	40	67,7	32	37	1,15	9,6	1 768,93
13:27:13	259	8:38	235,7	2,7	26	67,8	21	24	1,15	9,6	1 768,93
13:27:15	260	8:40	236,6	2,7	20	67,3	16	18	1,15	9,7	1 768,94
13:27:17	261	8:42	239,1	2,6	11	67,8	9	10	1,14	9,7	1 768,95
13:27:19	262	8:44	238,7	2,6	9	67,6	7	8	1,14	9,7	1 768,95
13:27:21	263	8:46	239	2,7	7	68,2	6	7	1,15	9,8	1 768,96
13:27:23	264	8:48	239,3	2,6	5	68,2	4	5	1,14	9,7	1 768,97
13:27:25	265	8:50	238,5	2,6	4	68,2	3	3	1,14	9,7	1 768,98
13:27:27	266	8:52	239,5	2,6	2	68,2	2	2	1,14	9,7	1 768,98
13:27:29	267	8:54	240,3	2,6	1	68,4	1	1	1,14	9,8	1 768,99
13:27:31	268	8:56	242,5	2,8	1	69,4	1	1	1,15	10	1 769,00
13:27:33	269	8:58	242,8	2,8	1	69,2	1	1	1,15	10	1 769,00
13:27:35	270	9:00	242,2	2,9	1	70	1	1	1,16	10	1 769,01
13:27:37	271	9:02	243,6	2,9	0	70	0	0	1,16	10,1	1 769,02
13:27:39	272	9:04	244,5	3	0	70,4	0	0	1,17	10,1	1 769,02
13:27:41	273	9:06	244,4	3,2	0	70,7	0	0	1,18	10,2	1 769,03
13:27:43	274	9:08	244,6	3,4	0	71,3	0	0	1,19	10,3	1 769,04
13:27:45	275	9:10	244,2	3,5	0	71,7	0	0	1,2	10,3	1 769,04
13:27:47	276	9:12	243,9	3,5	0	71,5	0	0	1,2	10,3	1 769,05
13:27:49	277	9:14	239,6	3,6	0	71,9	0	0	1,21	10,2	1 769,06
13:27:51	278	9:16	225,4	3,7	0	72,3	0	0	1,21	9,5	1 769,06
13:27:53	279	9:18	218,7	3,9	0	73	0	0	1,23	9,3	1 769,07

13:27:55	280	9:20	212,5	4,7	0	72,3	0	0	1,29	9,3	1 769,07
13:27:57	281	9:22	209,9	8,4	2	64,9	1	2	1,67	11,4	1 769,07
13:27:59	282	9:24	209,3	11,7	12	59,6	5	11	2,26	14,7	1 769,07
13:28:01	283	9:26	208,1	15,5	61	53,5	15	57	3,82	23,5	1 769,08
13:28:03	284	9:28	207,7	16,5	95	52,5	19	89	4,67	28,2	1 769,08
13:28:05	285	9:30	206,8	18,4	225	52,2	26	210	8,08	47,3	1 769,08
13:28:07	286	9:32	206,2	19,5	420	54,2	28	392	14	80,3	1 769,09
13:28:09	287	9:34	205,1	20	563	69,7	25	525	21	118,8	1 769,09
13:28:11	288	9:36	203,9	20,3			21				1 769,09
13:28:13	289	9:38	203,4	20,5			18				1 769,09
13:28:15	290	9:40	202,7	20,6			13				1 769,09
13:28:17	291	9:42	201,6	20,7			9				1 769,09
13:28:19	292	9:44	201,2	20,7			6				1 769,10
13:28:21	293	9:46	201	20,8			5				1 769,10
13:28:23	294	9:48	199,2	20,8			4				1 769,10
13:28:25	295	9:50	197,2	20,8			3				1 769,10
13:28:27	296	9:52	197,9	20,8			2				1 769,10
13:28:29	297	9:54	198,9	20,8			1				1 769,10
13:28:31	298	9:56	198,4	20,8			1				1 769,10
13:28:33	299	9:58	197,6	20,8			1				1 769,10
13:28:35	300	10:00									1 769,10
13:28:37	301	10:02	196,3	20,8			1				1 769,10
13:28:39	302	10:04	195,4	20,8			1				1 769,11
13:28:41	303	10:06	195	20,8			2				1 769,11
13:28:43	304	10:08	194,2	20,8			2				1 769,11
13:28:45	305	10:10	193,3	20,8			1				1 769,11
13:28:47	306	10:12	192,4	20,8			1				1 769,11
13:28:49	307	10:14	191,9	20,8			1				1 769,11
13:28:51	308	10:16	191,1	20,8			1				1 769,11
13:28:53	309	10:18	190,1	20,8			0				1 769,11
13:28:55	310	10:20	190,9	20,8			0				1 769,11
13:28:57	311	10:22	192,9	20,8			0				1 769,11
13:28:59	312	10:24	192,8	20,7			1				1 769,11
13:29:01	313	10:26	192,3	20,1			5				1 769,11
13:29:03	314	10:28	194,2	19,2	225	32,3	18	210	11,67	62,7	1 769,12
13:29:05	315	10:30	200,6	16,9	362	16,1	66	338	5,12	29,6	1 769,12
13:29:07	316	10:32	205,2	15,2	458	20,7	118	427	3,62	22	1 769,12
13:29:09	317	10:34	215	12,3	525	52,6	203	490	2,41	16,1	1 769,13
13:29:11	318	10:36	220,1	10,2	502	67,4	241	469	1,94	13,7	1 769,14
13:29:13	319	10:38	227,1	7,8	424	74,3	249	396	1,59	12	1 769,14
13:29:15	320	10:40	229,4	6,7	360	75,1	229	336	1,47	11,3	1 769,15
13:29:17	321	10:42	230,6	5,8	292	74,7	197	272	1,38	10,9	1 769,16
13:29:19	322	10:44	231,2	4,6	199	72,5	145	186	1,28	10,3	1 769,16
13:29:21	323	10:46									1 769,17
13:29:23	324	10:48	234,1	3,3	98	69	77	91	1,19	9,8	1 769,18
13:29:25	325	10:50	234,9	3	74	67,8	59	69	1,17	9,7	1 769,18
13:29:27	326	10:52	235,4	2,8	49	67,5	40	46	1,15	9,6	1 769,19

13:29:29	327	10:54	234,6	2,7	37	67,5	30	34	1,15	9,6	1 769,20
13:29:31	328	10:56	236,4	2,6	27	67,4	22	25	1,14	9,6	1 769,21
13:29:33	329	10:58	238	2,6	17	68	14	16	1,14	9,7	1 769,21
13:29:35	330	11:00	238,4	2,6	10	68	8	9	1,14	9,7	1 769,22
13:29:37	331	11:02	238,8	2,6	7	68,2	6	7	1,14	9,7	1 769,23
13:29:39	332	11:04	237,9	2,6	5	68,4	4	5	1,14	9,7	1 769,24
13:29:41	333	11:06	238,3	2,6	5	68,4	4	5	1,15	9,7	1 769,24
13:29:43	334	11:08	240,7	2,7	4	68,8	3	3	1,15	9,8	1 769,25
13:29:45	335	11:10	241,3	2,7	2	68,6	2	2	1,15	9,9	1 769,26
13:29:47	336	11:12									1 769,26
13:29:49	337	11:14	242,8	2,7	0	68,4	0	0	1,15	9,9	1 769,27
13:29:51	338	11:16	242,4	2,7	0	68,6	0	0	1,15	9,9	1 769,28
13:29:53	339	11:18	243,4	2,8	1	69	1	1	1,15	10	1 769,28
13:29:55	340	11:20	244,3	2,9	1	69,4	1	1	1,16	10,1	1 769,29
13:29:57	341	11:22	242,4	3	3	70,2	2	2	1,17	10	1 769,30
13:29:59	342	11:24	244,2	3	0	70,4	0	0	1,17	10,1	1 769,30
13:30:01	343	11:26	243,7	3,2	0	70,7	0	0	1,18	10,2	1 769,31
13:30:03	344	11:28	245,5	3,4	0	71,3	0	0	1,19	10,4	1 769,32
13:30:05	345	11:30	245,2	3,5	0	72,2	0	0	1,2	10,4	1 769,32
13:30:07	346	11:32	230,9	3,6	0	72,8	0	0	1,21	9,7	1 769,33
13:30:09	347	11:34	225,6	3,6	0	72,8	0	0	1,21	9,5	1 769,33
13:30:11	348	11:36	216,4	3,9	0	73	0	0	1,23	9,2	1 769,34
13:30:13	349	11:38	212	5,3	0	69,8	0	0	1,34	9,6	1 769,34
13:30:15	350	11:40	210,4	8,2	4	64,8	2	3	1,64	11,2	1 769,34
13:30:17	351	11:42	208,8	13	20	58,1	7	18	2,63	16,7	1 769,35
13:30:19	352	11:44	208,4	14,3	30	56,1	9	28	3,13	19,5	1 769,35
13:30:21	353	11:46	207,4	17,2	101	55,1	17	94	5,53	32,9	1 769,35
13:30:23	354	11:48	206,5	18,8	235	54,6	23	220	9,55	55,2	1 769,36
13:30:25	355	11:50	205,4	19,5	360	62	24	336	14	79,7	1 769,36
13:30:27	356	11:52	204,6	20,1	-	-	21	-	-	-	1 769,36
13:30:29	357	11:54	204,1	20,3	-	-	18	-	-	-	1 769,36
13:30:31	358	11:56	203	20,5	-	-	13	-	-	-	1 769,36
13:30:33	359	11:58	202,2	20,6	-	-	11	-	-	-	1 769,37
13:30:35	360	12:00	201,9	20,7	-	-	9	-	-	-	1 769,37
13:30:37	361	12:02	201,2	20,7	-	-	7	-	-	-	1 769,37
13:30:39	362	12:04	200,5	20,7	-	-	5	-	-	-	1 769,37
13:30:41	363	12:06	197,9	20,7	-	-	3	-	-	-	1 769,37
13:30:43	364	12:08	197	20,8	-	-	2	-	-	-	1 769,37
13:30:45	365	12:10	196,6	20,8	-	-	2	-	-	-	1 769,37
13:30:47	366	12:12	198,8	20,8	-	-	1	-	-	-	1 769,37
13:30:49	367	12:14	198	20,8	-	-	1	-	-	-	1 769,37
13:30:51	368	12:16	197,3	20,8	-	-	2	-	-	-	1 769,38
13:30:53	369	12:18	196,9	20,8	-	-	1	-	-	-	
13:30:55	370	12:20	195,6	20,8	-	-	1	-	-	-	
13:30:57	371	12:22	195,2	20,8	-	-	1	-	-	-	
13:30:59	372	12:24	194,6	20,8	-	-	2	-	-	-	

Другий режим

Uhrzeit	Zähler	Zeit	AT	O2	CO	Nox	CO	Counv	Lambda	qA	Gaszähler
hh:mm:ss		min:sec	°C	%	mg/m3	mg/m3	ppm	ppm	-	%	
13:39:40	0	0:00	199,2	20,8	-	-	5	-	-	-	
13:39:42	1	0:02	197	20,8	-	-	4	-	-	-	1770,45
13:39:44	2	0:04	195,6	20,8	-	-	3	-	-	-	1770,45
13:39:46	3	0:06	197,2	20,8	-	-	2	-	-	-	1770,45
13:39:48		0:08	197,7	20,8	-	-	1	-	-	-	1770,45
13:39:50	5	0:10	197,6	20,8	-	-	0	-	-	-	1770,46
13:39:52	6	0:12	196,6	20,8	-	-	2	-	-	-	1770,46
13:39:54	7	0:14	196,4	20,8	-	-	3	-	-	-	1770,46
13:39:56	8	0:16	195,4	20,8	-	-	2	-	-	-	1770,46
13:39:58	9	0:18	194,9	20,8	-	-	2	-	-	-	1770,46
13:40:00	10	0:20	193,9	20,8	-	-	2	-	-	-	1770,46
13:40:02	11	0:22	193,4	20,8	-	-	1	-	-	-	1770,46
13:40:04	12	0:24	192,7	20,8	-	-	1	-	-	-	1770,46
13:40:06	13	0:26	191,9	20,8	-	-	0	-	-	-	1770,46
13:40:08	14	0:28	191,2	20,8	-	-	1	-	-	-	1770,46
13:40:10	15	0:30	189,4	20,8	-	-	1	-	-	-	1770,46
13:40:12	16	0:32	189,4	20,8	-	-	0	-	-	-	1770,46
13:40:14	17	0:34	190,3	20,8	-	-	0	-	-	-	1770,46
13:40:16	18	0:36	191,7	20,8	-	-	1	-	-	-	1770,46
13:40:18	19	0:38	191,3	20,7	-	-	2	-	-	-	1770,46
13:40:20	20	0:40	191	19,9	164	52,8	8	153	19,09	99,5	1770,47
13:40:22	21	0:42	192,3	19,4	211	36,3	15	197	13,12	69,5	1770,47
13:40:24	22	0:44	201,4	16,4	396	16	81	370	4,57	26,6	1770,47
13:40:26	23	0:46	204,2	15,5	442	19	108	412	3,82	22,9	1770,48
13:40:28	24	0:48	213,1	12,6	512	49,8	191	478	2,5	16,4	1770,48
13:40:30	25	0:50	221,4	9,6	478	69,7	242	446	1,84	13,2	1770,49
13:40:32	26	0:52	226	8,1	427	73,9	245	399	1,63	12,1	1770,5
13:40:34	27	0:54	228,3	6,5	334	74,8	215	311	1,45	11,2	1770,5
13:40:36	28	0:56	229	6	299	73,9	199	279	1,4	10,9	1770,51
13:40:38	29	0:58	231,8	4,5	180	72,3	132	168	1,27	10,2	1770,52
13:40:40	30	1:00	231,3	3,8	136	70,5	104	127	1,22	9,9	1770,52
13:40:42	31	1:02	233,8	3,2	91	69,4	72	85	1,18	9,7	1770,53
13:40:44	32	1:04	233,6	2,9	68	68,3	55	64	1,16	9,6	1770,54
13:40:46	33	1:06	233,9	2,8	52	68,3	42	48	1,15	9,5	1770,55
13:40:48	34	1:08	235,7	2,7	32	68,2	26	30	1,15	9,6	1770,55
13:40:50	35	1:10	236,9	2,6	23	68	19	22	1,14	9,6	1770,56
13:40:52	36	1:12	237,3	2,6	17	68,2	14	16	1,14	9,6	1770,57
13:40:54	37	1:14	237,7	2,6	12	68,9	10	11	1,14	9,6	1770,57
13:40:56	38	1:16	238,2	2,6	10	68,9	8	9	1,14	9,7	1770,58
13:40:58	39	1:18	239,1	2,6	6	68,6	5	6	1,14	9,7	1770,59
13:41:00	40	1:20	239,5	2,6	4	68,9	3	3	1,14	9,7	1770,6
13:41:02	41	1:22	240,2	2,7	2	69,4	2	2	1,15	9,8	1770,6
13:41:04	42	1:24	240,8	2,7	2	69,4	2	2	1,15	9,8	1770,61
13:41:06	43	1:26	241,4	2,7	2	69,7	2	2	1,15	9,8	1770,62

13:41:08	44	1:28	240,3	2,8	1	69,8	1	1	1,15	9,8	1770,62
13:41:10	45	1:30	240,6	2,8	0	70	0	0	1,15	9,8	1770,63
13:41:12	46	1:32	243,4	3	0	70,8	0	0	1,17	10,1	1770,64
13:41:14	47	1:34	242,6	3,1	0	71	0	0	1,17	10,1	1770,64
13:41:16	48	1:36	241,8	3,1	1	71,2	1	1	1,17	10	1770,65
13:41:18	49	1:38	243,7	3,3	0	71,8	0	0	1,19	10,2	1770,66
13:41:20	50	1:40	243,6	3,4	0	72	0	0	1,19	10,2	1770,66
13:41:22	51	1:42	243,3	3,5	0	72,4	0	0	1,2	10,3	1770,67
13:41:24	52	1:44	242,7	3,6	0	73	0	0	1,21	10,3	1770,67
13:41:26	53	1:46	227,9	3,7	0	73,5	0	0	1,21	9,6	1770,68
13:41:28	54	1:48	216,8	3,9	0	73,4	0	0	1,23	9,2	1770,68
13:41:30	55	1:50	212,2	4,3	0	73,8	0	0	1,26	9,1	1770,69
13:41:32	56	1:52	209,7	7,2	2	68,2	1	2	1,52	10,5	1770,69
13:41:34	57	1:54									
13:41:36	58	1:56	207,4	14,6	35	58,1	10	33	3,28	20,2	1770,7
13:41:38	59	1:58	206,6	16,5	80	56,8	16	75	4,67	27,9	1770,7
13:41:40	60	2:00	206,3	17,9	167	56,2	23	156	6,77	39,6	1770,7
13:41:42	61	2:02									
13:41:44	62	2:04	204,3	19,7							
13:41:46	63	2:06	203,1	20,2							
13:41:48	64	2:08	202,3	20,4							
13:41:50	65	2:10									
13:41:52	66	2:12									
13:41:54	67	2:14	200,2	20,7			8				1770,72
13:41:56	68	2:16	199,8	20,7			6				1770,72
13:41:58	69	2:18	198,4	20,8			4				1770,72
13:42:00	70	2:20	196,3	20,8			2				1770,72
13:42:02	71	2:22	195,6	20,8			2				1770,72
13:42:04	72	2:24	197,7	20,8			2				1770,72
13:42:06	73	2:26	197,5	20,8			2				1770,72
13:42:08	74	2:28	196,8	20,8			2				1770,72
13:42:10	75	2:30	196,5	20,8			2				1770,72
13:42:12	76	2:32	195,5	20,8			2				1770,73
13:42:14	77	2:34	194,6	20,8			2				1770,73
13:42:16	78	2:36	193,8	20,8			1				1770,73
13:42:18	79	2:38	193,1	20,8			0				1770,73
13:42:20	80	2:40	192,9	20,8			1				1770,73
13:42:22	81	2:42	191,9	20,8			2				1770,73
13:42:24	82	2:44	191,5	20,8			2				1770,73
13:42:26	83	2:46	190,6	20,8			2				1770,73
13:42:28	84	2:48	188,9	20,8			1				1770,73
13:42:30	85	2:50	190	20,8			0				1770,73
13:42:32	86	2:52	190,7	20,8			0				1770,73
13:42:34	87	2:54	192,3	20,8			0				1770,73
13:42:36	88	2:56	190,9	20,5			2				1770,73
13:42:38	89	2:58	191,2	19,8	150	51,7	8	140	17,5	91	1770,74

13:42:40	90	3:00	193,7	18,7	245	30,3	25	228	9,13	49,1	1770,74
13:42:42	91	3:02	200,7	16,4	396	15,2	81	370	4,57	26,4	1770,74
13:42:44	92	3:04	209,7	13,7	493	39,3	160	460	2,88	18,2	1770,75
13:42:46	93	3:06	218,4	10,6	480	66,3	222	448	2,02	14	1770,75
13:42:48	94	3:08	221,1	9,7	462	70,3	232	431	1,86	13,2	1770,76
13:42:50	95	3:10	226,8	7,5	380	74,3	228	355	1,56	11,7	1770,77
13:42:52	96	3:12	229,1	6,1	287	74,4	190	268	1,41	10,9	1770,77
13:42:54	97	3:14	229,8	5,2	225	73,3	158	210	1,33	10,4	1770,78
13:42:56	98	3:16	231	4,1	150	71,3	113	140	1,24	10	1770,79
13:42:58	99	3:18	232,1	3,6	114	69,9	88	106	1,21	9,8	1770,8
13:43:00	100	3:20	233,2	3,2	86	69	68	80	1,18	9,7	1770,8
13:43:02	101	3:22	234,9	3	65	68,9	52	61	1,17	9,7	1770,81
13:43:04	102	3:24	234,5	2,8	43	68,5	35	40	1,15	9,5	1770,82
13:43:06	103	3:26	235	2,7	27	68,2	22	25	1,15	9,5	1770,82
13:43:08	104	3:28	235,9	2,6	20	68,2	16	18	1,14	9,5	1770,83
13:43:10	105	3:30	237,2	2,6	15	68,2	12	14	1,14	9,6	1770,84
13:43:12	106	3:32									1770,84
13:43:14	107	3:34	238,4	2,6	7	68,4	6	7	1,14	9,6	1770,85
13:43:16	108	3:36	239,6	2,6	6	68,4	5	6	1,14	9,7	1770,86
13:43:18	109	3:38	238,7	2,6	4	68,9	3	3	1,14	9,7	1770,87
13:43:20	110	3:40	239,2	2,6	1	68,9	1	1	1,14	9,7	1770,87
13:43:22	111	3:42	239,7	2,7	0	69,6	0	0	1,15	9,7	1770,88
13:43:24	112	3:44	242	2,8	1	70	1	1	1,15	9,9	1770,89
13:43:26	113	3:46	242	2,9	1	70,4	1	1	1,16	9,9	1770,89
13:43:28	114	3:48	240,7	2,9	1	70,6	1	1	1,16	9,9	1770,9
13:43:30	115	3:50	241,7	3	1	70,8	1	1	1,17	10	1770,91
13:43:32	116	3:52	242,3	3	0	70,8	0	0	1,17	10	1770,91
13:43:34	117	3:54	243,2	3,2	1	71,6	1	1	1,18	10,1	1770,92
13:43:36	118	3:56	243,6	3,3	0	71,6	0	0	1,19	10,2	1770,93
13:43:38	119	3:58	243,6	3,4	0	72	0	0	1,19	10,3	1770,93
13:43:40	120	4:00	243,8	3,4	0	71,8	0	0	1,19	10,3	1770,94
13:43:42	121	4:02	243,3	3,6	0	72,6	0	0	1,21	10,3	1770,95
13:43:44	122	4:04	224,8	3,8	0	73,4	0	0	1,22	9,5	1770,95
13:43:46	123	4:06	218,5	3,9	0	73,6	0	0	1,23	9,2	1770,96
13:43:48	124	4:08	211,7	4,6	1	72,5	1	1	1,28	9,2	1770,96
13:43:50	125	4:10	209,7	6,6	3	69,4	2	3	1,46	10,1	1770,96
13:43:52	126	4:12	208,2	11,3	12	62,3	5	11	2,16	14	1770,97
13:43:54	127	4:14	207,1	14	32	58,7	10	30	3	18,6	1770,97
13:43:56	128	4:16	206,3	16,2	75	59,7	16	70	4,38	26,2	1770,97
13:43:58	129	4:18	205,3	18,2	193	59,5	24	180	7,5	43,4	1770,98
13:44:00	130	4:20	204,8	19,1	308	63,2	26	287	11,05	63	1770,98
13:44:02	131	4:22	204,2	19,9	511	74	25	477	19,09	107,2	1770,98
13:44:04	132	4:24	203,3	20,2			22				1770,98
13:44:06	133	4:26	202,7	20,4			17				1770,98
13:44:08	134	4:28	202,1	20,6			14				1770,98
13:44:10	135	4:30	201,1	20,7			11				1770,99

13:44:12	136	4:32	200,3	20,7			8				1770,99
13:44:14	137	4:34	199,7	20,7			5				1770,99
13:44:16	138	4:36	198	20,8			4				1770,99
13:44:18	139	4:38	196	20,8			4				1770,99
13:44:20	140	4:40	195,8	20,8			3				1770,99
13:44:22	141	4:42	197,6	20,8			3				1770,99
13:44:24	142	4:44	197,6	20,8			2				1770,99
13:44:26	143	4:46	197,1	20,8			2				1770,99
13:44:28	144	4:48	196,4	20,8			2				1771
13:44:30	145	4:50	195,5	20,8			2				1771
13:44:32	146	4:52	194,6	20,8			1				1771
13:44:34	147	4:54	193,9	20,8			1				1771
13:44:36	148	4:56	193,1	20,8			1				1771
13:44:38	149	4:58	192,6	20,8			2				1771
13:44:40	150	5:00	192	20,8			1				1771
13:44:42	151	5:02	191	20,8			1				1771
13:44:44	152	5:04	190	20,8			1				1771
13:44:46	153	5:06	188,2	20,8			1				1771
13:44:48	154	5:08	189,4	20,8			1				1771
13:44:50	155	5:10	190,6	20,8			1				1771
13:44:52	156	5:12	190,9	20,6			1				1771
13:44:54	157	5:14	190,8	20,5			2				1771
13:44:56	158	5:16	192,3	19,4	197	38,7	14	184	13,12	69,3	1771,01
13:44:58	159	5:18	198,3	17,2	332	17,3	56	309	5,53	31,2	1771,01
13:45:00	160	5:20	203,5	15,5	425	19	104	397	3,82	22,8	1771,02
13:45:02	161	5:22	210	13,7	490	38,7	159	457	2,88	18,2	1771,02
13:45:04	162	5:24	215,5	11,6	493	60,2	206	460	2,23	15	1771,03
13:45:06	163	5:26	223,1	8,9	443	73,6	238	413	1,74	12,6	1771,03
13:45:08	164	5:28	224,3	8,2	417	75,1	237	389	1,64	12,1	1771,04
13:45:10	165	5:30	230,3	6	290	74,6	193	270	1,4	10,9	1771,05
13:45:12	166	5:32	231,5	4,8	200	73,4	144	187	1,3	10,4	1771,05
13:45:14	167	5:34	231,9	4,1	153	71,8	114	142	1,24	10	1771,06
13:45:16	168	5:36	232,1	3,3	98	69,8	77	91	1,19	9,7	1771,07
13:45:18	169	5:38	235	3	74	68,9	59	69	1,17	9,7	1771,08
13:45:20	170	5:40	234,6	2,9	57	68,9	46	53	1,16	9,6	1771,08
13:45:22	171	5:42	235,6	2,7	38	68,4	31	36	1,15	9,6	1771,09
13:45:24	172	5:44	235,6	2,6	28	68	23	26	1,14	9,5	1771,1
13:45:26	173	5:46	236	2,6	18	68	15	17	1,14	9,6	1771,11
13:45:28	174	5:48	236,6	2,6	13	68,2	11	13	1,14	9,6	1771,11
13:45:30	175	5:50	239,1	2,7	9	68,6	7	8	1,15	9,7	1771,12
13:45:32	176	5:52	238,4	2,7	5	69	4	5	1,15	9,7	1771,12
13:45:34	177	5:54	238,7	2,7	4	69	3	3	1,15	9,7	1771,13
13:45:36	178	5:56	240,9	2,7	2	69,2	2	2	1,15	9,8	1771,14
13:45:38	179	5:58	242,4	2,7	1	69,4	1	1	1,15	9,9	1771,15
13:45:40	180	6:00	241,8	2,8	0	69,6	0	0	1,15	9,9	1771,15
13:45:42	181	6:02	240,2	2,7	0	69,7	0	0	1,15	9,8	1771,16

13:45:44	182	6:04	240,7	2,9	0	70,2	0	0	1,16	9,9	1771,17
13:45:46	183	6:06	242,1	3	1	70,6	1	1	1,17	10	1771,17
13:45:48	184	6:08	242,8	3,1	1	71	1	1	1,17	10,1	1771,18
13:45:50	185	6:10	243,9	3,2	0	71,6	0	0	1,18	10,2	1771,19
13:45:52	186	6:12	243,9	3,2	0	71,8	0	0	1,18	10,2	1771,19
13:45:54	187	6:14	243,8	3,2	0	71,6	0	0	1,18	10,2	1771,2
13:45:56	188	6:16	243,4	3,3	0	71,8	0	0	1,19	10,2	1771,21
13:45:58	189	6:18	244,6	3,5	0	72,8	0	0	1,2	10,4	1771,21
13:46:00	190	6:20	227,3	3,6	0	73,5	0	0	1,21	9,6	1771,22
13:46:02	191	6:22	219,6	3,7	0	73,7	0	0	1,21	9,2	1771,22
13:46:04	192	6:24	212,3	4,2	0	74	0	0	1,25	9,1	1771,23
13:46:06	193	6:26	211,1	4,8	0	72,9	0	0	1,3	9,3	1771,23
13:46:08	194	6:28	209,1	8,7	2	66,1	1	2	1,71	11,5	1771,23
13:46:10	195	6:30	208,1	11,9	12	62,6	5	12	2,31	14,9	1771,24
13:46:12	196	6:32	207,1	14,5	35	60,2	10	32	3,23	20	1771,24
13:46:14	197	6:34	206,9	15,6	58	59,6	14	54	3,89	23,6	1771,24
13:46:16	198	6:36	205,5	18,4	208	61,1	24	194	8,08	46,7	1771,25
13:46:18	199	6:38	204,4	19,6	402	72	25	375	15	84,8	1771,25
13:46:20	200	6:40	203,7	20	540	81,4	24	504	21	117,6	1771,25
13:46:22	201	6:42	202,5	20,4			19				1771,25
13:46:24	202	6:44	201,6	20,5			14				1771,25
13:46:26	203	6:46	201,1	20,6			11				1771,25
13:46:28	204	6:48	200,7	20,7			9				1771,26
13:46:30	205	6:50	199,8	20,7			6				1771,26
13:46:32	206	6:52	198,5	20,8			4				1771,26
13:46:34	207	6:54	196,8	20,8			4				1771,26
13:46:36	208	6:56	195,1	20,8			3				1771,26
13:46:38	209	6:58	197,7	20,8			2				1771,26
13:46:40	210	7:00	197,6	20,8			2				1771,26
13:46:42	211	7:02	197,3	20,8			2				1771,26
13:46:44	212	7:04	196,4	20,8			2				1771,27
13:46:46	213	7:06	195,6	20,8			2				1771,27
13:46:48	214	7:08	195,2	20,8			2				1771,27
13:46:50	215	7:10	194,4	20,8			1				1771,27
13:46:52	216	7:12	193,3	20,8			0				1771,27
13:46:54	217	7:14	192,5	20,8			1				1771,27
13:46:56	218	7:16	192,3	20,8			1				1771,27
13:46:58	219	7:18	191,4	20,8			1				1771,27
13:47:00	220	7:20	190,9	20,8			1				1771,27
13:47:02	221	7:22	189,2	20,8			1				1771,27
13:47:04	222	7:24	189,4	20,8			2				1771,27
13:47:06	223	7:26	191,1	20,8			0				1771,27
13:47:08	224	7:28	191,4	20,8			0				1771,27
13:47:10	225	7:30	191,1	20,7			1				1771,27
13:47:12	226	7:32	191,1	19,9	184	52,8	9	172	19,09	99,9	1771,27
13:47:14	227	7:34	195,3	18,1	310	21,4	40	290	7,24	39,8	1771,28

13:47:16	228	7:36	200,7	16,5	400	17,2	80	373	4,67	27,1	1771,28
13:47:18	229	7:38	211,2	13,8	497	36,6	159	464	2,92	18,7	1771,29
13:47:20	230	7:40	216	11,8	504	58,1	206	470	2,28	15,4	1771,29
13:47:22	231	7:42	223,7	9	452	73	241	422	1,75	12,8	1771,3
13:47:24	232	7:44	227,2	7,6	396	74,9	236	370	1,57	11,8	1771,31
13:47:26	233	7:46	229,1	6,5	332	75,1	214	310	1,45	11,2	1771,31
13:47:28	234	7:48	230,5	5,2	236	73,6	166	221	1,33	10,5	1771,32
13:47:30	235	7:50	231,7	4,4	182	72,4	134	170	1,27	10,2	1771,33
13:47:32	236	7:52	232,2	3,5	118	70	92	110	1,2	9,8	1771,34
13:47:34	237	7:54	232,1	3,2	90	69,2	71	84	1,18	9,7	1771,34
13:47:36	238	7:56									1771,35
13:47:38	239	7:58	234,5	2,7	43	68,2	35	40	1,15	9,6	1771,36
13:47:40	240	8:00	236,2	2,6	33	67,8	27	31	1,14	9,6	1771,36
13:47:42	241	8:02	237	2,6	21	68	17	19	1,14	9,6	1771,37
13:47:44	242	8:04	237,4	2,5	16	67,6	13	15	1,14	9,6	1771,38
13:47:46	243	8:06	238,3	2,5	11	68,1	9	10	1,14	9,6	1771,39
13:47:48	244	8:08	238,2	2,6	9	68,4	7	8	1,14	9,7	1771,39
13:47:50	245	8:10	238,3	2,6	6	68,9	5	6	1,14	9,7	1771,4
13:47:52	246	8:12	239	2,6	2	68,9	2	2	1,14	9,7	1771,41
13:47:54	247	8:14	239,5	2,7	1	69,7	1	1	1,15	9,8	1771,41
13:47:56	248	8:16	241,8	2,7	1	69,7	1	1	1,15	9,9	1771,42
13:47:58	249	8:18	241,5	2,8	1	70	1	1	1,15	9,9	1771,42
13:48:00	250	8:20	241,4	2,8	1	70	1	1	1,15	9,9	1771,43
13:48:02	251	8:22	241,1	2,9	0	70,4	0	0	1,16	9,9	1771,44
13:48:04	252	8:24	241,9	2,9	1	70,9	1	1	1,16	10	1771,45
13:48:06	253	8:26	243,9	3,1	0	71,2	0	0	1,17	10,1	1771,45
13:48:08	254	8:28	244,9	3,1	0	71,2	0	0	1,17	10,2	1771,46
13:48:10	255	8:30	243,3	3,3	0	72	0	0	1,19	10,2	1771,47
13:48:12	256	8:32	243,6	3,4	0	72,2	0	0	1,19	10,3	1771,47
13:48:14	257	8:34	243,9	3,5	0	72,6	0	0	1,2	10,3	1771,48
13:48:16	258	8:36	239,3	3,6	1	73	1	1	1,21	10,1	1771,49
13:48:18	259	8:38	231,3	3,6	1	73,3	1	1	1,21	9,7	1771,49
13:48:20	260	8:40	219,1	3,8	0	74,1	0	0	1,22	9,2	1771,5
13:48:22	261	8:42	213,7	4,1	0	74,5	0	0	1,24	9,1	1771,5
13:48:24	262	8:44	210	6,5	0	70,5	0	0	1,45	10,1	1771,5
13:48:26	263	8:46	207,8	11,2	11	64	5	11	2,14	13,9	1771,51
13:48:28	264	8:48	207	14	35	60,9	11	33	3	18,6	1771,51
13:48:30	265	8:50	206,4	15,9	75	58,5	17	70	4,12	24,9	1771,51
13:48:32	266	8:52	205,4	18	180	60,7	24	168	7	40,8	1771,52
13:48:34	267	8:54	204,9	18,9	279	64,6	26	260	10	57,3	1771,52
13:48:36	268	8:56	204,1	19,7	433	77,5	25	404	16,15	91,1	1771,52
13:48:38	269	8:58	203,4	20,1			23				1771,52
13:48:40	270	9:00	202,7	20,4			18				1771,52
13:48:42	271	9:02	201,6	20,5			13				1771,52
13:48:44	272	9:04	201,1	20,6			11				1771,53
13:48:46	273	9:06	199,9	20,7			9				1771,53

13:48:48	274	9:08	199,3	20,7			6				1771,53
13:48:50	275	9:10	199,1	20,7			6				1771,53
13:48:52	276	9:12	196,8	20,7			4				1771,53
13:48:54	277	9:14	195,3	20,8			3				1771,53
13:48:56	278	9:16	197,1	20,8			2				1771,53
13:48:58	279	9:18	197,1	20,8			1				1771,53
13:49:00	280	9:20	197,1	20,8			1				1771,53
13:49:02	281	9:22	196	20,8			1				1771,53
13:49:04	282	9:24	195,6	20,8			1				1771,54
13:49:06	283	9:26	194,7	20,8			2				1771,54
13:49:08	284	9:28	193,9	20,8			2				1771,54
13:49:10	285	9:30	193,1	20,8			1				1771,54
13:49:12	286	9:32	192,6	20,8			1				1771,54
13:49:14	287	9:34	191,7	20,8			0				1771,54
13:49:16	288	9:36	191	20,8			0				1771,54
13:49:18	289	9:38	190,3	20,8			0				1771,54
13:49:20	290	9:40	188,7	20,8			0				1771,54
13:49:22	291	9:42	189,4	20,8			1				1771,54
13:49:24	292	9:44	190,1	20,8			2				1771,54
13:49:26	293	9:46	191,1	20,8			2				1771,54
13:49:28	294	9:48	190,1	20,5			2				1771,54
13:49:30	295	9:50	190,7	19,9	143	59,9	7	134	19,09	99,1	1771,55
13:49:32	296	9:52	194,2	18,8	225	28,2	22	210	9,55	51,5	1771,55
13:49:34	297	9:54	200,9	16,5	370	18,1	74	345	4,67	27,1	1771,55
13:49:36	298	9:56	208,5	14,8	454	28,1	125	423	3,39	21	1771,56
13:49:38	299	9:58	216,7	11,9	482	57,9	195	450	2,31	15,6	1771,57
13:49:40	300	10:00	221,1	9,9	448	69,1	221	418	1,89	13,4	1771,57
13:49:42	301	10:02	225,9	7,7	372	73,4	220	347	1,58	11,8	1771,58
13:49:44	302	10:04	229	6,7	313	74,2	199	292	1,47	11,3	1771,58
13:49:46	303	10:06	230,8	5,4	225	73,8	156	210	1,35	10,6	1771,59
13:49:48	304	10:08	231,7	4,5	173	71,6	127	162	1,27	10,2	1771,6
13:49:50	305	10:10	231,2	3,9	133	70,5	101	124	1,23	9,9	1771,61
13:49:52	306	10:12	232,2	3,3	89	69,4	70	83	1,19	9,7	1771,62
13:49:54	307	10:14	233,5	2,9	60	68,3	48	56	1,16	9,6	1771,62
13:49:56	308	10:16	233,8	2,8	52	68,3	42	48	1,15	9,6	1771,63
13:49:58	309	10:18	234,1	2,7	33	68	27	31	1,15	9,5	1771,64
13:50:00	310	10:20	235,8	2,6	24	67,8	20	23	1,14	9,5	1771,64
13:50:02	311	10:22	237,4	2,6	16	68	13	15	1,14	9,6	1771,65
13:50:04	312	10:24	238,2	2,6	10	68,6	8	9	1,14	9,7	1771,66
13:50:06	313	10:26	238,7	2,6	7	68,4	6	7	1,14	9,7	1771,66
13:50:08	314	10:28	238,7	2,7	4	68,8	3	3	1,15	9,7	1771,67
13:50:10	315	10:30	239,3	2,7	4	68,6	3	3	1,15	9,8	1771,68
13:50:12	316	10:32	241,6	2,8	4	69,2	3	3	1,15	9,9	1771,69
13:50:14	317	10:34	241,9	2,8	4	69,2	3	3	1,15	9,9	1771,69
13:50:16	318	10:36	241,3	2,8	2	69,4	2	2	1,15	9,9	1771,7
13:50:18	319	10:38	241,2	2,8	1	69,8	1	1	1,15	9,9	1771,7

13:50:20	320	10:40	240,3	2,8	1	69,8	1	1	1,15	9,8	1771,71
13:50:22	321	10:42	242,2	2,9	1	70,2	1	1	1,16	10	1771,72
13:50:24	322	10:44	241,9	3	0	70,4	0	0	1,17	10	1771,72
13:50:26	323	10:46	242,2	3,1	0	70,8	0	0	1,17	10,1	1771,73
13:50:28	324	10:48	243,6	3,2	0	71,4	0	0	1,18	10,2	1771,74
13:50:30	325	10:50	243,7	3,3	0	71,6	0	0	1,19	10,2	1771,75
13:50:32	326	10:52	242,4	3,4	0	72	0	0	1,19	10,2	1771,75
13:50:34	327	10:54	244,5	3,5	0	72,4	0	0	1,2	10,4	1771,76
13:50:36	328	10:56	232,4	3,7	1	73	1	1	1,21	9,9	1771,76
13:50:38	329	10:58	218,3	3,8	1	73,4	1	1	1,22	9,2	1771,77
13:50:40	330	11:00	212,9	4,1	0	74,1	0	0	1,24	9,1	1771,77
13:50:42	331	11:02	209,5	5,9	0	71,3	0	0	1,39	9,8	1771,77
13:50:44	332	11:04	208,4	8,7	2	66,1	1	2	1,71	11,5	1771,78
13:50:46	333	11:06	207,1	13,3	20	61,4	7	19	2,73	17,1	1771,78
13:50:48	334	11:08	206,4	15,6	54	59,6	13	51	3,89	23,6	1771,78
13:50:50	335	11:10	205,6	17,2	113	60,2	19	105	5,53	32,6	1771,79
13:50:52	336	11:12	204,5	18,7	235	62,3	24	219	9,13	52,4	1771,79
13:50:54	337	11:14	203,9	19,4	337	67,8	24	315	13,12	74,3	1771,79
13:50:56	338	11:16	202,7	20	473	77,5	21	441	21	117	1771,79
13:50:58	339	11:18	202,2	20,2			18				1771,79
13:51:00	340	11:20	201,8	20,4			14				1771,8
13:51:02	341	11:22	200,7	20,6			10				1771,8
13:51:04	342	11:24	200,2	20,6			8				1771,8
13:51:06	343	11:26	199,5	20,7			5				1771,8
13:51:08	344	11:28	198,8	20,7			4				1771,8
13:51:10	345	11:30	196,9	20,7			3				1771,8
13:51:12	346	11:32	195,4	20,7			3				1771,8
13:51:14	347	11:34	197,3	20,7			3				1771,81
13:51:16	348	11:36	197,7	20,7			2				1771,81
13:51:18	349	11:38	196,8	20,7			2				1771,81
13:51:20	350	11:40	196,3	20,7			2				1771,81
13:51:22	351	11:42	195,8	20,8			1				1771,81
13:51:24	352	11:44	194,9	20,8			1				1771,81
13:51:26	353	11:46	194,2	20,8			1				1771,81
13:51:28	354	11:48	193,3	20,8			1				1771,81
13:51:30	355	11:50	192,5	20,8			1				1771,81
13:51:32	356	11:52	191,5	20,8			1				1771,81
13:51:34	357	11:54	191,1	20,8			1				1771,81
13:51:36	358	11:56	190,8	20,8			1				1771,81
13:51:38	359	11:58	189	20,8			1				1771,81
13:51:40	360	12:00									1771,81
13:51:42	361	12:02	190,3	20,8			0				1771,81
13:51:44	362	12:04	191,6	20,8			1				1771,81
13:51:46	363	12:06	190,7	20,5			3				1771,82
13:51:48	364	12:08	190,9	20,3			5				1771,82
13:51:50	365	12:10	197	18,1	264	24	34	246	7,24	40,1	1771,82

13:51:52	366	12:12	202	16,5	355	17,2	71	331	4,67	27,2	1771,83
13:51:54	367	12:14	208,4	14,8	435	26,9	120	406	3,39	21	1771,83
13:51:56	368	12:16	218,1	11,8	474	56,9	194	443	2,28	15,5	1771,84
13:51:58	369	12:18	221,1	10,8	465	63,4	211	434	2,06	14,4	1771,84
13:52:00	370	12:20	227,7	7,6	378	73,2	225	353	1,57	11,8	1771,85
13:52:02	371	12:22	228,8	7,1	350	73,9	216	326	1,51	11,5	1771,86
13:52:04	372	12:24	230,1	5,7	256	73,2	174	239	1,37	10,7	
13:52:06	373	12:26	231,5	4,5	176	71,6	129	164	1,27	10,2	
13:52:08	374	12:28	231,9	3,9	136	70,5	103	126	1,23	9,9	1771,88
13:52:10	375	12:30	234,2	3,3	90	69,2	71	84	1,19	9,8	1771,89
13:52:12	376	12:32	233,8	3	68	68,4	54	63	1,17	9,6	1771,89
13:52:14	377	12:34	235,5	2,8	45	68,1	36	42	1,15	9,6	1771,9
13:52:16	378	12:36	236,2	2,7	38	67,8	31	36	1,15	9,6	1771,91
13:52:18	379	12:38	236,5	2,6	26	67,8	21	24	1,14	9,6	1771,91
13:52:20	380	12:40	237	2,6	16	68	13	15	1,14	9,6	1771,92

Третій режим

Uhrzeit	Zähler	Zeit	AT	O2	CO	Nox	CO	Counv	Lambda	qA	Gaszähler
hh:mm:ss		min:sec	°C	%	mg/m3	mg/m3	ppm	ppm	-	%	
14:19:35	0	0:00	221,1	20,8	-	-	0	-	-	-	1775,38
14:19:37	1	0:02	220,3	20,8	-	-	1	-	-	-	1775,38
14:19:39	2	0:04	219,5	20,8	-	-	1	-	-	-	1775,38
14:19:41	3	0:06	217,9	20,8	-	-	0	-	-	-	1775,38
14:19:43	4	0:08	216,1	20,8	-	-	0	-	-	-	1775,38
14:19:45	5	0:10	217,4	20,8	-	-	0	-	-	-	1775,38
14:19:47	6	0:12	217,7	20,8	-	-	0	-	-	-	1775,38
14:19:49	7	0:14	217,8	20,8	-	-	1	-	-	-	1775,38
14:19:51	8	0:16	219,4	20,4	-	-	2	-	-	-	1775,38
14:19:53	9	0:18	217,4	19,6	161	60,9	10	150	15	91,2	1775,39
14:19:55	10	0:20	221,8	17,6	298	37,6	45	278	6,18	39,5	1775,39
14:19:57	11	0:22	226,6	16	392	34,1	87	365	4,2	28,2	1775,39
14:19:59	12	0:24	234,5	13,4	468	53,5	158	437	2,76	20	1775,4
14:20:01	13	0:26	240,1	11,4	452	68,6	193	422	2,19	16,7	1775,41
14:20:03	14	0:28	244,7	9,6	407	75,5	206	379	1,84	14,7	1775,41
14:20:05	15	0:30	251,1	7,1	290	77,2	179	270	1,51	12,9	1775,42
14:20:07	16	0:32	251	6,6	259	77	166	242	1,46	12,5	1775,43
14:20:09	17	0:34	251,4	6,1	231	75,9	153	216	1,41	12,2	1775,43
14:20:11	18	0:36	253,2	4,1	118	72,9	89	111	1,24	11,1	1775,44
14:20:13	19	0:38	253	3,6	89	71,9	69	83	1,21	10,8	1775,45
14:20:15	20	0:40	254,2	3,1	59	70,6	47	55	1,17	10,7	1775,46
14:20:17	21	0:42	253,5	3	51	70,4	41	48	1,17	10,6	1775,46
14:20:19	22	0:44	255,4	2,8	33	69,8	27	31	1,15	10,6	1775,47
14:20:21	23	0:46	255,3	2,7	25	69,9	20	23	1,15	10,5	1775,48
14:20:23	24	0:48	257,7	2,6	16	69,7	13	15	1,14	10,6	1775,48
14:20:25	25	0:50	257,9	2,6	12	69,7	10	11	1,14	10,6	1775,49
14:20:27	26	0:52	258,3	2,6	10	69,9	8	9	1,14	10,6	1775,5
14:20:29	27	0:54	258,7	2,6	4	69,9	3	3	1,14	10,6	1775,51
14:20:31	28	0:56	259,1	2,6	4	69,9	3	3	1,14	10,6	1775,52
14:20:33	29	0:58	260,6	2,6	2	70,3	2	2	1,14	10,7	1775,52
14:20:35	30	1:00	260,1	2,6	1	70,8	1	1	1,14	10,7	1775,53
14:20:37	31	1:02	260,3	2,6	1	71	1	1	1,14	10,7	1775,53
14:20:39	32	1:04	262,2	2,6	0	71	0	0	1,14	10,8	1775,54
14:20:41	33	1:06	261,5	2,6	0	71,4	0	0	1,14	10,8	1775,55
14:20:43	34	1:08									
14:20:45	35	1:10	263,3	2,6	0	71,6	0	0	1,14	10,9	1775,56
14:20:47	36	1:12	265,2	2,6	0	71,6	0	0	1,14	11	1775,57
14:20:49	37	1:14	264,2	2,6	0	71,8	0	0	1,14	10,9	1775,58
14:20:51	38	1:16	264,4	2,6	0	71,6	0	0	1,14	10,9	1775,58
14:20:53	39	1:18	264,5	2,6	0	71,8	0	0	1,14	10,9	1775,59
14:20:55	40	1:20	265,3	2,6	0	71,8	0	0	1,14	11	1775,6
14:20:57	41	1:22	266,5	2,6	0	72	0	0	1,14	11	1775,6
14:20:59	42	1:24	266,7	2,6	0	72	0	0	1,14	11	1775,61
14:21:01	43	1:26	267,3	2,6	0	72,2	0	0	1,14	11,1	1775,62

14:21:03	44	1:28	267,3	2,7	1	72,6	1	1	1,15	11,1	1775,63
14:21:05	45	1:30	266,8	2,7	1	72,8	1	1	1,15	11,1	1775,63
14:21:07	46	1:32	267,8	2,6	0	72,6	0	0	1,14	11,1	1775,64
14:21:09	47	1:34	268,6	2,6	0	73,1	0	0	1,14	11,1	1775,65
14:21:11	48	1:36	269,4	2,6	0	72,9	0	0	1,14	11,1	1775,65
14:21:13	49	1:38	269,4	2,6	0	72,9	0	0	1,14	11,1	1775,66
14:21:15	50	1:40	268,3	2,6	0	73,5	0	0	1,14	11,1	1775,67
14:21:17	51	1:42	269,5	2,6	0	73,5	0	0	1,14	11,1	1775,67
14:21:19	52	1:44	269,2	2,7	0	73,9	0	0	1,15	11,2	1775,68
14:21:21	53	1:46	271,3	2,7	0	73,3	0	0	1,15	11,3	1775,69
14:21:23	54	1:48	272,3	2,7	0	73,7	0	0	1,15	11,3	1775,7
14:21:25	55	1:50	270,9	2,7	0	73,9	0	0	1,15	11,2	1775,71
14:21:27	56	1:52	271,7	2,7	0	74,1	0	0	1,15	11,3	1775,71
14:21:29	57	1:54	271,6	2,7	0	73,9	0	0	1,15	11,3	1775,72
14:21:31	58	1:56	272,2	2,7	0	74,1	0	0	1,15	11,3	1775,73
14:21:33	59	1:58	272,8	2,7	0	74,1	0	0	1,15	11,3	1775,73
14:21:35	60	2:00	272,8	2,7	0	74,1	0	0	1,15	11,3	1775,74
14:21:37	61	2:02	273,5	2,7	1	74,3	1	1	1,15	11,4	1775,75
14:21:39	62	2:04	273,1	2,7	1	74,3	1	1	1,15	11,3	1775,75
14:21:41	63	2:06	273,2	2,7	0	74,5	0	0	1,15	11,3	1775,76
14:21:43	64	2:08	274,1	2,7	0	74,5	0	0	1,15	11,4	1775,77
14:21:45	65	2:10	275,1	2,8	0	74,7	0	0	1,15	11,5	1775,77
14:21:47	66	2:12	275,1	2,8	0	74,3	0	0	1,15	11,5	1775,78
14:21:49	67	2:14	275,3	2,8	0	74,7	0	0	1,15	11,5	1775,79
14:21:51	68	2:16	275,1	2,8	0	74,7	0	0	1,15	11,5	1775,8
14:21:53	69	2:18	275,1	2,8	0	74,7	0	0	1,15	11,5	1775,8
14:21:55	70	2:20	275,7	2,9	0	75,1	0	0	1,16	11,6	1775,81
14:21:57	71	2:22	275	3	0	75,6	0	0	1,17	11,6	1775,82
14:21:59	72	2:24	275,6	3	0	75,6	0	0	1,17	11,6	1775,82
14:22:01	73	2:26	277,3	3,1	0	75,8	0	0	1,17	11,8	1775,83
14:22:03	74	2:28	277,1	3,1	0	75,8	0	0	1,17	11,7	1775,84
14:22:05	75	2:30	278,5	3,1	0	75,8	0	0	1,17	11,8	1775,84
14:22:07	76	2:32	278,5	3,2	0	76,2	0	0	1,18	11,9	1775,85
14:22:09	77	2:34	276,8	3,2	0	76,4	0	0	1,18	11,8	1775,86
14:22:11	78	2:36	278,4	3,2	0	76,4	0	0	1,18	11,9	1775,86
14:22:13	79	2:38	276,7	3,2	0	76,4	0	0	1,18	11,8	1775,87
14:22:15	80	2:40	276,6	3,3	0	77,3	0	0	1,19	11,8	1775,88
14:22:17	81	2:42	277,3	3,4	0	77	0	0	1,19	11,9	1775,88
14:22:19	82	2:44	277,2	3,6	0	77,5	0	0	1,21	12	1775,89
14:22:21	83	2:46	277,1	3,6	0	77,7	0	0	1,21	12	1775,9
14:22:23	84	2:48	277,7	3,6	0	78,2	0	0	1,21	12	1775,9
14:22:25	85	2:50	276,6	3,7	0	78,4	0	0	1,21	12	1775,91
14:22:27	86	2:52	271,7	3,7	0	78,2	0	0	1,21	11,8	1775,91
14:22:29	87	2:54	256,4	3,8	0	78,6	0	0	1,22	11,1	1775,92
14:22:31	88	2:56	250,8	4	0	78,9	0	0	1,24	10,9	1775,92
14:22:33	89	2:58	246,2	5,4	0	77,2	0	0	1,35	11,5	1775,93

14:22:35	90	3:00	244,6	8,2	0	74,2	0	0	1,64	13,4	1775,93
14:22:37	91	3:02	243	12,9	17	70,8	6	16	2,59	19,7	1775,94
14:22:39	92	3:04	242,2	15,2	50	68,1	13	47	3,62	26,6	1775,94
14:22:41	93	3:06	241,3	17	101	70,7	18	95	5,25	37,4	1775,94
14:22:43	94	3:08	239,8	18,7	235	75,8	24	219	9,13	63,1	1775,94
14:22:45	95	3:10	239,4	19,1	284	79,5	24	265	11,05	75,7	1775,95
14:22:47	96	3:12	237,5	20	495	100,7	22	402	21	140,6	1775,95
14:22:49	97	3:14	236,9	20,4	-	-	18	-	-	-	1775,95
14:22:51	98	3:16	236,5	20,4	-	-	16	-	-	-	1775,95
14:22:53	99	3:18	235,2	20,6	-	-	12	-	-	-	1775,95
14:22:55	100	3:20	233,9	20,7	-	-	9	-	-	-	1775,95
14:22:57	101	3:22	233,3	20,7	-	-	6	-	-	-	1775,96
14:22:59	102	3:24	231,9	20,8	-	-	4	-	-	-	1775,96
14:23:01	103	3:26	230,2	20,8	-	-	2	-	-	-	1775,96
14:23:03	104	3:28	228,2	20,8	-	-	2	-	-	-	1775,96
14:23:05	105	3:30	229,2	20,8	-	-	2	-	-	-	1775,96
14:23:07	106	3:32	229,7	20,8	-	-	3	-	-	-	1775,96
14:23:09	107	3:34	229,2	20,8	-	-	2	-	-	-	1775,96
14:23:11	108	3:36	228	20,8	-	-	1	-	-	-	1775,96
14:23:13	109	3:38	227,8	20,8	-	-	1	-	-	-	1775,96
14:23:15	110	3:40	226,9	20,8	-	-	1	-	-	-	1775,96
14:23:17	111	3:42	226,3	20,8	-	-	1	-	-	-	1775,96
14:23:19	112	3:44	224,9	20,8	-	-	1	-	-	-	1775,97
14:23:21	113	3:46	224	20,8	-	-	0	-	-	-	1775,97
14:23:23	114	3:48	223,1	20,8	-	-	0	-	-	-	1775,97
14:23:25	115	3:50	221,9	20,8	-	-	1	-	-	-	1775,97
14:23:27	116	3:52	221,3	20,8	-	-	1	-	-	-	1775,97
14:23:29	117	3:54	219	20,8	-	-	0	-	-	-	1775,97
14:23:31	118	3:56	219,2	20,8	-	-	0	-	-	-	1775,97
14:23:33	119	3:58	219,6	20,8	-	-	0	-	-	-	1775,97
14:23:35	120	4:00	220,7	20,8	-	-	0	-	-	-	1775,97
14:23:37	121	4:02	220	20,7	-	-	1	-	-	-	1775,97
14:23:39	122	4:04	220,3	19,8	150	77,5	8	140	17,5	107,7	1775,97
14:23:41	123	4:06	221,7	19,3	185	225	43,6	24	8,75	8,75	1775,98
14:23:43	124	4:08	227,3	17	309	34,9	55	289	5,25	34,9	1775,98
14:23:45	125	4:10	232,5	15,4	390	36	97	364	3,75	26,2	1775,98
14:23:47	126	4:12	241,4	12,6	431	60,4	161	403	2,5	18,9	1775,99
14:23:49	127	4:14	247,8	9,6	381	74,4	193	356	1,84	15	1776
14:23:51	128	4:16	249,8	8,2	336	77,8	191	313	1,64	13,7	1776
14:23:53	129	4:18	252,1	7	278	77,2	173	260	1,5	12,8	1776,01
14:23:55	130	4:20	254,2	6,1	225	76,4	149	210	1,41	12,3	1776,02
14:23:57	131	4:22	255,4	4,5	134	74,2	98	125	1,27	11,4	1776,02
14:23:59	132	4:24	255,4	4,2	115	73,6	86	108	1,25	11,3	1776,03
14:24:01	133	4:26	256,9	3,4	73	71,1	57	68	1,19	10,9	1776,04
14:24:03	134	4:28	257,6	3	48	70,4	38	44	1,17	10,8	1776,05
14:24:05	135	4:30	257	2,9	36	70,4	29	34	1,16	10,7	1776,05

14:24:07	136	4:32	259,2	2,7	25	69,7	20	23	1,15	10,7	1776,06
14:24:09	137	4:34	259,2	2,7	21	69,7	17	20	1,15	10,7	1776,07
14:24:11	138	4:36	260,2	2,6	11	69,7	9	10	1,14	10,7	1776,07
14:24:13	139	4:38	261	2,6	10	69,7	8	9	1,14	10,7	1776,08
14:24:15	140	4:40	261	2,6	10	69,7	8	9	1,14	10,7	1776,09
14:24:17	141	4:42	261,9	2,6	2	70,3	2	2	1,14	10,8	1776,09
14:24:19	142	4:44	262,1	2,6	2	70,5	2	2	1,14	10,8	1776,1
14:24:21	143	4:46	263	2,7	1	71,1	1	1	1,15	10,9	1776,11
14:24:23	144	4:48	263,4	2,6	0	71	0	0	1,14	10,8	1776,12
14:24:25	145	4:50	263,9	2,6	0	71	0	0	1,14	10,9	1776,12
14:24:27	146	4:52	265,7	2,6	0	71,2	0	0	1,14	10,9	1776,13
14:24:29	147	4:54	264,4	2,6	0	71,2	0	0	1,14	10,9	1776,14
14:24:31	148	4:56	266,1	2,6	0	71,4	0	0	1,14	11	1776,14
14:24:33	149	4:58	266,4	2,6	0	71,4	0	0	1,14	11	1776,15
14:24:35	150	5:00	267,1	2,6	0	71,6	0	0	1,14	11	1776,16
14:24:37	151	5:02	267	2,6	0	71,6	0	0	1,14	11	1776,17
14:24:39	152	5:04	267,2	2,6	0	71,8	0	0	1,14	11	1776,17
14:24:41	153	5:06	269,4	2,6	0	72,2	0	0	1,14	11,1	1776,18
14:24:43	154	5:08	268,9	2,6	0	71,8	0	0	1,14	11,1	1776,19
14:24:45	155	5:10	268,4	2,6	0	72,2	0	0	1,14	11,1	1776,2
14:24:47	156	5:12	268,1	2,6	0	72,2	0	0	1,14	11	1776,2
14:24:49	157	5:14	270	2,7	0	72,8	0	0	1,15	11,2	1776,21
14:24:51	158	5:16	269,8	2,7	0	72,6	0	0	1,15	11,2	1776,22
14:24:53	159	5:18	269,7	2,7	0	72,8	0	0	1,15	11,2	1776,22
14:24:55	160	5:20	270,1	2,7	0	73,5	0	0	1,15	11,2	1776,23
14:24:57	161	5:22	271	2,7	0	73	0	0	1,15	11,2	1776,24
14:24:59	162	5:24	271,9	2,7	0	73,5	0	0	1,15	11,3	1776,24
14:25:01	163	5:26	272,2	2,7	0	73,7	0	0	1,15	11,3	1776,25
14:25:03	164	5:28	272,4	2,7	0	73,9	0	0	1,15	11,3	1776,26
14:25:05	165	5:30	273,2	2,7	0	73,9	0	0	1,15	11,3	1776,26
14:25:07	166	5:32	274,9	2,7	0	74,1	0	0	1,15	11,4	1776,27
14:25:09	167	5:34	273,8	2,7	1	74,1	1	1	1,15	11,4	1776,28
14:25:11	168	5:36	274,1	2,6	0	74,1	0	0	1,14	11,3	1776,29
14:25:13	169	5:38	274,5	2,7	0	74,3	0	0	1,15	11,4	1776,29
14:25:15	170	5:40	274,4	2,7	0	74,3	0	0	1,15	11,4	1776,3
14:25:17	171	5:42	275,6	2,7	0	74,3	0	0	1,15	11,5	1776,31
14:25:19	172	5:44	275,9	2,8	0	74,5	0	0	1,15	11,5	1776,32
14:25:21	173	5:46	277	2,9	0	74,7	0	0	1,16	11,6	1776,32
14:25:23	174	5:48	275,7	2,9	0	74,7	0	0	1,16	11,6	1776,33
14:25:25	175	5:50	275,2	2,9	0	74,9	0	0	1,16	11,6	1776,33
14:25:27	176	5:52	275,8	2,9	0	74,7	0	0	1,16	11,6	1776,34
14:25:29	177	5:54	275,9	3	0	75,1	0	0	1,17	11,6	1776,35
14:25:31	178	5:56	276,9	3,1	0	75,5	0	0	1,17	11,7	1776,35
14:25:33	179	5:58	277,3	3,1	0	75,5	0	0	1,17	11,7	1776,36
14:25:35	180	6:00	275,1	3,1	0	75,8	0	0	1,17	11,6	1776,37
14:25:37	181	6:02	275,1	3,1	0	75,8	0	0	1,17	11,6	1776,37

14:25:39	182	6:04	276,5	3,2	0	76,2	0	0	1,18	11,8	1776,38
14:25:41	183	6:06	277,7	3,4	0	76,8	0	0	1,19	11,9	1776,39
14:25:43	184	6:08	278,3	3,5	0	76,8	0	0	1,2	12	1776,4
14:25:45	185	6:10	278	3,6	0	77,5	0	0	1,21	12	1776,4
14:25:47	186	6:12	277,8	3,6	0	77,5	0	0	1,21	12	1776,41
14:25:49	187	6:14	278	3,7	0	77,5	0	0	1,21	12,1	1776,41
14:25:51	188	6:16	275	3,7	0	77,5	0	0	1,21	11,9	1776,42
14:25:53	189	6:18	257,3	3,8	0	78,4	0	0	1,22	11,1	1776,42
14:25:55	190	6:20	251,7	3,9	0	78,8	0	0	1,23	10,9	1776,43
14:25:57	191	6:22	246,5	4,9	0	77,2	0	0	1,3	11,2	1776,43
14:25:59	192	6:24	244,9	7,4	0	74,6	0	0	1,54	12,7	1776,44
14:26:01	193	6:26	243,7	12,2	8	70	3	7	2,39	18,4	1776,44
14:26:03	194	6:28	242,9	14,8	25	70	7	24	3,39	25	1776,44
14:26:05	195	6:30	241,8	16,6	56	69,6	11	53	4,77	34,2	1776,45
14:26:07	196	6:32	240,5	18,5	153	75,9	17	143	8,4	58,2	1776,45
14:26:09	197	6:34	240,2	19,2	238	81,8	19	222	11,67	79,9	1776,45
14:26:11	198	6:36	238,7	19,9	327	98,6	16	305	19,09	128,6	1776,45
14:26:13	199	6:38	237,9	20,2			14				1776,46
14:26:15	200	6:40	236,9	20,4			11				1776,46
14:26:17	201	6:42	235,6	20,6			8				1776,46
14:26:19	202	6:44	234,6	20,7			7				1776,46
14:26:21	203	6:46	234	20,7			7				1776,46
14:26:23	204	6:48	233,3	20,8			5				1776,46
14:26:25	205	6:50	230,5	20,8			3				1776,47
14:26:27	206	6:52	228,7	20,8			2				1776,47
14:26:29	207	6:54	230,2	20,8			3				1776,47
14:26:31	208	6:56	230,8	20,8			2				1776,47
14:26:33	209	6:58	230,1	20,8			1				1776,47
14:26:35	210	7:00	229,7	20,8			1				1776,47
14:26:37	211	7:02	228,8	20,8			0				1776,47
14:26:39	212	7:04	227,4	20,8			1				1776,47
14:26:41	213	7:06	226,5	20,8			2				1776,47
14:26:43	214	7:08	226	20,8			2				1776,47
14:26:45	215	7:10	224,6	20,8			1				1776,47
14:26:47	216	7:12	223,7	20,8			0				1776,47
14:26:49	217	7:14	223,1	20,8			1				1776,47
14:26:51	218	7:16	222,4	20,8			1				1776,47
14:26:53	219	7:18	220,8	20,8			1				1776,47
14:26:55	220	7:20	220	20,8			1				1776,47
14:26:57	221	7:22	221,4	20,8			0				1776,47
14:26:59	222	7:24	222	20,8			0				1776,47
14:27:01	223	7:26	221,2	20,7			1				1776,48
14:27:03	224	7:28	221	19,9	164	81	8	153	19,09	117,5	1776,48
14:27:05	225	7:30	223,7	18,8	235	47,6	23	220	9,55	60,5	1776,48
14:27:07	226	7:32	228	17,3	322	36,7	53	301	5,68	37,6	1776,48
14:27:09	227	7:34	235,2	14,8	421	40	116	393	3,39	24,1	1776,49

14:27:11	228	7:36	244	11,9	430	66	174	402	2,31	17,8	1776,5
14:27:13	229	7:38	248,3	10	391	74,7	191	365	1,91	15,5	1776,5
14:27:15	230	7:40	252,3	8,4	339	76,9	190	317	1,67	14	1776,51
14:27:17	231	7:42	254,9	7,3	287	77,8	175	268	1,53	13,3	1776,51
14:27:19	232	7:44	255,7	5,9	207	76,5	139	193	1,39	12,3	1776,52
14:27:21	233	7:46	257,3	4,6	139	74,2	101	129	1,28	11,6	1776,53
14:27:23	234	7:48	258,2	4	106	73,2	80	99	1,24	11,3	1776,54
14:27:25	235	7:50	258,1	3,5	81	72	63	76	1,2	11	1776,54
14:27:27	236	7:52	258,9	3,2	62	71	49	58	1,18	10,9	1776,55
14:27:29	237	7:54	260,2	2,9	41	70,6	33	38	1,16	10,8	1776,56
14:27:31	238	7:56	259,5	2,8	26	70,7	21	24	1,15	10,8	1776,57
14:27:33	239	7:58	260	2,7	18	70,5	15	17	1,15	10,7	1776,57
14:27:35	240	8:00	261,8	2,6	12	70,3	10	11	1,14	10,8	1776,58
14:27:37	241	8:02	261,8	2,6	12	70,3	10	11	1,14	10,8	1776,59
14:27:39	242	8:04	260,9	2,6	6	70,5	5	6	1,14	10,7	1776,6
14:27:41	243	8:06	262,6	2,5	4	70,2	3	3	1,14	10,8	1776,6
14:27:43	244	8:08	263,8	2,5	2	70,2	2	2	1,14	10,8	1776,61
14:27:45	245	8:10	263,3	2,5	1	70,4	1	1	1,14	10,8	1776,62
14:27:47	246	8:12	263,9	2,6	1	70,8	1	1	1,14	10,9	1776,62
14:27:49	247	8:14	265,9	2,6	1	71,2	1	1	1,14	11	1776,63
14:27:51	248	8:16	265,5	2,6	1	71,2	1	1	1,14	10,9	1776,64
14:27:53	249	8:18	266,7	2,6	1	71,2	1	1	1,14	11	1776,64
14:27:55	250	8:20	267,4	2,6	0	71,4	0	0	1,14	11	1776,65
14:27:57	251	8:22	267,4	2,6	0	71,8	0	0	1,14	11	1776,66
14:27:59	252	8:24	268,9	2,6	0	71,8	0	0	1,14	11,1	1776,66
14:28:01	253	8:26	269,9	2,6	0	71,6	0	0	1,14	11,2	1776,67
14:28:03	254	8:28	270,2	2,6	0	72	0	0	1,14	11,2	1776,68
14:28:05	255	8:30	270,5	2,6	0	72,2	0	0	1,14	11,2	1776,69
14:28:07	256	8:32	269,6	2,6	0	72,2	0	0	1,14	11,1	1776,69
14:28:09	257	8:34	271	2,6	0	72,2	0	0	1,14	11,2	1776,7
14:28:11	258	8:36	271,5	2,6	0	72,2	0	0	1,14	11,2	1776,71
14:28:13	259	8:38	270,8	2,6	0	72,4	0	0	1,14	11,2	1776,72
14:28:15	260	8:40	271,4	2,6	0	73,1	0	0	1,14	11,2	1776,72
14:28:17	261	8:42	271,4	2,5	0	73,1	0	0	1,13	11,2	1776,73
14:28:19	262	8:44	272,1	2,6	1	72,6	1	1	1,14	11,3	1776,73
14:28:21	263	8:46	273,5	2,7	0	73	0	0	1,15	11,4	1776,74
14:28:23	264	8:48	274	2,7	0	73	0	0	1,15	11,4	1776,75
14:28:25	265	8:50	272,1	2,7	0	73,9	0	0	1,15	11,3	1776,76
14:28:27	266	8:52	273,2	2,7	0	73,9	0	0	1,15	11,4	1776,77
14:28:29	267	8:54	273,2	2,7	0	73,9	0	0	1,15	11,4	1776,77
14:28:31	268	8:56	274,2	2,7	0	73,9	0	0	1,15	11,4	1776,78
14:28:33	269	8:58	274,8	2,7	0	73,9	0	0	1,15	11,4	1776,78
14:28:35	270	9:00	274,8	2,7	0	73,9	0	0	1,15	11,4	1776,79
14:28:37	271	9:02	275,1	2,7	0	73,7	0	0	1,15	11,4	1776,8
14:28:39	272	9:04	275,8	2,7	0	74,1	0	0	1,15	11,5	1776,81
14:28:41	273	9:06	277,5	2,8	0	74,5	0	0	1,15	11,6	1776,81

14:28:43	274	9:08	276,2	2,9	0	74,9	0	0	1,16	11,6	1776,82
14:28:45	275	9:10	276,2	3	0	75,1	0	0	1,17	11,6	1776,83
14:28:47	276	9:12	277	3,1	0	75,3	0	0	1,17	11,7	1776,83
14:28:49	277	9:14	276,4	3,2	0	76	0	0	1,18	11,7	1776,84
14:28:51	278	9:16	277	3,2	0	76	0	0	1,18	11,8	1776,85
14:28:53	279	9:18	276,3	3,2	0	75,7	0	0	1,18	11,7	1776,85
14:28:55	280	9:20	277,5	3,3	0	76	0	0	1,19	11,8	1776,86
14:28:57	281	9:22	276,7	3,4	0	76,4	0	0	1,19	11,9	1776,87
14:28:59	282	9:24	277	3,5	0	76,4	0	0	1,2	11,9	1776,87
14:29:01	283	9:26	278	3,5	0	76,4	0	0	1,2	12	1776,88
14:29:03	284	9:28	276,8	3,5	0	76,6	0	0	1,2	11,9	1776,89
14:29:05	285	9:30	276,2	3,6	0	77,3	0	0	1,21	11,9	1776,9
14:29:07	286	9:32	264,2	3,7	0	77,3	0	0	1,21	11,4	1776,9
14:29:09	287	9:34	253,2	3,9	0	77,9	0	0	1,23	11	1776,9
14:29:11	288	9:36	248,8	4,1	0	78,2	0	0	1,24	10,9	1776,91
14:29:13	289	9:38	246,4	5,3	0	76	0	0	1,34	11,4	1776,91
14:29:15	290	9:40	244,8	9,9	4	71,9	2	4	1,89	15,1	1776,91
14:29:17	291	9:42	243,8	12,8	16	69,5	6	15	2,56	19,6	1776,92
14:29:19	292	9:44	243	15,3	47	69,3	12	44	3,68	27,1	1776,92
14:29:21	293	9:46	241,2	18,3	167	76,1	20	156	7,78	54,3	1776,92
14:29:23	294	9:48	240,7	18,7	205	77,5	21	192	9,13	63,1	1776,93
14:29:25	295	9:50	239,7	19,7	381	92,4	22	355	16,15	109,4	1776,93
14:29:27	296	9:52	239	20,1			21				1776,93
14:29:29	297	9:54	237,7	20,4			17				1776,93
14:29:31	298	9:56	235,9	20,6			12				1776,93
14:29:33	299	9:58	235,1	20,7			8				1776,94
14:29:35	300	10:00	234,9	20,7			7				1776,94
14:29:37	301	10:02	234,1	20,8			5				1776,94
14:29:39	302	10:04	232,4	20,8			4				1776,94
14:29:41	303	10:06	230,6	20,8			2				1776,94
14:29:43	304	10:08	229,9	20,8			2				1776,94
14:29:45	305	10:10	231,5	20,8			2				1776,94
14:29:47	306	10:12	231	20,8			3				1776,94
14:29:49	307	10:14	230,1	20,8			3				1776,95
14:29:51	308	10:16	229,8	20,8			2				1776,95
14:29:53	309	10:18	229,8	20,8			2				1776,95
14:29:55	310	10:20	227,7	20,8			2				1776,95
14:29:57	311	10:22	227,1	20,8			2				1776,95
14:29:59	312	10:24	225,7	20,9			1				1776,95
14:30:01	313	10:26	225,1	20,9			1				1776,95
14:30:03	314	10:28	224,3	20,9			1				1776,95
14:30:05	315	10:30	223,3	20,8			1				1776,95
14:30:07	316	10:32	221,9	20,8			0				1776,95
14:30:09	317	10:34	220,6	20,8			0				1776,95
14:30:11	318	10:36	221,5	20,8			0				1776,95
14:30:13	319	10:38	222,5	20,8			1				1776,95

14:30:15	320	10:40	223,2	20,8			1				1776,95
14:30:17	321	10:42	222,2	20,7			1				1776,95
14:30:19	322	10:44	222,4	19,8	169	74,3	9	157	17,5	108,7	1776,95
14:30:21	323	10:46	227,7	17,8	288	36,3	41	269	6,56	43,1	1776,96
14:30:23	324	10:48	232,5	16,2	380	33,9	81	354	4,38	30,1	1776,96
14:30:25	325	10:50	238,9	13,5	456	50,1	152	426	2,8	20,7	1776,97
14:30:27	326	10:52	241,7	12,5	458	59,3	173	427	2,47	18,7	1776,97
14:30:29	327	10:54	250,1	9,5	405	73,8	207	378	1,83	15	1776,98
14:30:31	328	10:56	253	8,1	356	77,2	204	332	1,63	13,8	1776,99
14:30:33	329	10:58	255,5	6,4	268	76,4	174	250	1,44	12,6	1776,99
14:30:35	330	11:00	257,7	5,1	187	75,3	132	174	1,32	11,9	1777
14:30:37	331	11:02	257,5	4,4	144	74	106	134	1,27	11,4	1777,01
14:30:39	332	11:04	258,3	3,8	109	72,5	83	101	1,22	11,2	1777,02
14:30:41	333	11:06	257,9	3,5	94	71,7	73	88	1,2	11	1777,02
14:30:43	334	11:08	259,3	2,9	51	70,4	41	48	1,16	10,8	1777,03
14:30:45	335	11:10	260,7	2,7	32	69,9	26	30	1,15	10,8	1777,04
14:30:47	336	11:12	260,8	2,7	25	69,7	20	23	1,15	10,8	1777,04
14:30:49	337	11:14	261,7	2,6	16	70,1	13	15	1,14	10,8	1777,05
14:30:51	338	11:16	262,9	2,6	12	70,3	10	11	1,14	10,8	1777,06
14:30:53	339	11:18	263,2	2,5	7	70	6	7	1,14	10,8	1777,07
14:30:55	340	11:20	264,3	2,5	5	70,2	4	5	1,14	10,8	1777,07
14:30:57	341	11:22	265,9	2,5	4	70,2	3	3	1,14	10,9	1777,08
14:30:59	342	11:24	265,2	2,5	1	70,2	1	1	1,14	10,9	1777,09
14:31:01	343	11:26	265,9	2,5	0	70,6	0	0	1,14	10,9	1777,09
14:31:03	344	11:28	265	2,5	0	70,8	0	0	1,14	10,9	1777,1
14:31:05	345	11:30	265,8	2,6	1	71,2	1	1	1,14	11	1777,11
14:31:07	346	11:32									
14:31:09	347	11:34									
14:31:11	348	11:36	267,9	2,6							
14:31:13	349	11:38	268,9	2,6	0	72,2	0	0	1,14	11,1	1777,14
14:31:15	350	11:40	268,7	2,6	0	72,2	0	0	1,14	11,1	1777,14
14:31:17	351	11:42	269,5	2,6	0	72,2	0	0	1,14	11,1	1777,15
14:31:19	352	11:44	269,9	2,6	0	72,2	0	0	1,14	11,2	1777,16
14:31:21	353	11:46	270,2	2,6	0	72,4	0	0	1,14	11,2	1777,17
14:31:23	354	11:48	271,4	2,6	0	72,4	0	0	1,14	11,2	1777,17
14:31:25	355	11:50	270,1	2,6	0	72,6	0	0	1,14	11,2	1777,18
14:31:27	356	11:52	270,1	2,6	0	72,6	0	0	1,14	11,2	1777,19
14:31:29	357	11:54	272,3	2,6	0	72,6	0	0	1,14	11,3	1777,19
14:31:31	358	11:56	272,9	2,6	0	72,6	0	0	1,14	11,3	1777,2
14:31:33	359	11:58	272,7	2,6	0	73,1	0	0	1,14	11,3	1777,21
14:31:35	360	12:00	274,6	2,6	0	72,9	0	0	1,14	11,4	1777,21
14:31:37	361	12:02	273,5	2,7	0	73,7	0	0	1,15	11,3	1777,22
14:31:39	362	12:04	273,4	2,7	0	73,7	0	0	1,15	11,3	1777,23
14:31:41	363	12:06	273,1	2,7	0	73,7	0	0	1,15	11,3	1777,24
14:31:43	364	12:08	273,8	2,7	0	73,9	0	0	1,15	11,3	1777,24
14:31:45	365	12:10	275,6	2,8	0	74,3	0	0	1,15	11,5	1777,25

14:31:47	366	12:12	274,5	2,8	0	74,3	0	0	1,15	11,4	1777,26
14:31:49	367	12:14	275	2,8	0	74,3	0	0	1,15	11,4	1777,26
14:31:51	368	12:16	275,7	2,9	0	74,7	0	0	1,16	11,5	1777,27
14:31:53	369	12:18	276,6	3	0	74,9	0	0	1,17	11,6	1777,28
14:31:55	370	12:20	277,4	3,1	1	75,5	1	1	1,17	11,7	1777,29
14:31:57	371	12:22	276,1	3,1	0	75,5	0	0	1,17	11,7	1777,29
14:31:59	372	12:24	277,1	3,2	0	75,7	0	0	1,18	11,8	1777,3
14:32:01	373	12:26	276,4	3,2	0	76	0	0	1,18	11,7	1777,3
14:32:03	374	12:28	277,2	3,2	0	76	0	0	1,18	11,8	1777,31
14:32:05	375	12:30	277,2	3,3	0	76,4	0	0	1,19	11,8	1777,32
14:32:07	376	12:32	278	3,4	0	76,6	0	0	1,19	11,9	1777,32
14:32:09	377	12:34	276,6	3,5	0	77	0	0	1,2	11,9	1777,33
14:32:11	378	12:36	276,6	3,5	0	77,3	0	0	1,2	11,9	1777,34
14:32:13	379	12:38	278,6	3,6	0	77,7	0	0	1,21	12,1	1777,34
14:32:15	380	12:40	268,2	3,7	0	77,5	0	0	1,21	11,6	1777,35
14:32:17	381	12:42	257,7	3,8	0	77,5	0	0	1,22	11,1	1777,35
14:32:19	382	12:44	249,6	4,1	0	78,4	0	0	1,24	10,9	1777,36
14:32:21	383	12:46	247	4,9	0	77,5	0	0	1,3	11,2	1777,36
14:32:23	384	12:48	245,5	7,4	2	74,4	1	2	1,54	12,7	1777,37
14:32:25	385	12:50	243,8	12,2	18	70,9	7	17	2,39	18,3	1777,37
14:32:27	386	12:52	243	14,7	39	68,3	11	37	3,33	24,7	1777,37
14:32:29	387	12:54	241,8	17,4	119	71	19	111	5,83	41,3	1777,38
14:32:31	388	12:56	240,9	18,5	207	74,4	23	193	8,4	58,3	1777,38
14:32:33	389	12:58	240	19,3	318	82	24	296	12,35	84,3	1777,38
14:32:35	390	13:00	238,9	20	495	100,7	22	462	21	141,1	1777,38
14:32:37	391	13:02	237,9	20,3	-	-	19	-	-	-	1777,38
14:32:39	392	13:04	236,6	20,5	-	-	15	-	-	-	1777,39
14:32:41	393	13:06	235,8	20,7	-	-	12	-	-	-	1777,39
14:32:43	394	13:08	235,2	20,7	-	-	10	-	-	-	1777,39

ДОДАТОК Г

Зведені таблиці результатів оброблених даних, отриманих при дослідженні роботи кекс-печі на трьох технологічних режимах:

ВТРАТИ МЕТАНУ

	температурний режим	споживання холодного повітря	швидкість обертання вентилятора	часовий інтервал режиму	ВТРАТИ МЕТАНУ			
					Min	Max	Min	Max
	°C	%	%	sec	m ³	m ³	%	%
РЕЖИМ №1	180	50	50	736	0,175	0,28	12,32	19,7 %
РЕЖИМ №2	180	100	50	760	0,204	0,31	13,87	21,08
РЕЖИМ №3	220	100	100	788	0,106	0,184	5,27	9,15

ВИКИДИ ЧАДНОГО ГАЗУ – CO

	температурний режим	споживання холодного повітря	швидкість обертання вентилятора	часовий інтервал режиму	ВИКИДИ ЧАДНОГО ГАЗУ (CO), що перевищують допустиму норму, 100 mg/m ³	
					загальний час	загальний час
	°C	%	%	sec	sec	%
РЕЖИМ №1	180	50	50	736	118	16,03
РЕЖИМ №2	180	100	50	760	136	17,89
РЕЖИМ №3	220	100	100	788	98	12,44

ЕКОЛОГІЧНІСТЬ РОБОТИ ПП

	температурний режим	споживання холодного повітря	швидкість обертання вентилятора	часовий інтервал режиму	ЗАГАЛЬНИЙ ЧАС ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТОЇ РОБОТИ ПП	
	°C	%	%	sec	sec	%
РЕЖИМ №1	180	50	50	736	304	41,3
РЕЖИМ №2	180	100	50	760	286	37,63
РЕЖИМ №3	220	100	100	788	495	62,82

ТЕМПЕРАТУРНА НЕРІВНОМІРНІСТЬ

	температурний режим	споживання холодного повітря	швидкість обертання вентилятора	часовий інтервал режиму	ТЕМПЕРАТУРНА НЕРІВНОМІРНІСТЬ	
	°C	%	%	sec	°C	%
РЕЖИМ №1	180	50	50	736	17	9,44
РЕЖИМ №2	180	100	50	760	17	9,44
РЕЖИМ №3	220	100	100	788	32	14,55

ДОДАТОК Д

АКТ

сравнения характеристик работы обжиговой машины КМ-14 №2 (ГУ СНТ)
с работой обжиговых машин КМ-14 №1, 3, 4 (штатные ГУ)
аглофабрики ЧАО «ММК им. Ильича»

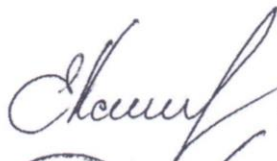
«02» октября 2017 г.

Настоящий акт составлен в том, что в период с 18.09.2017 по 22.09.2017 на машине КМ-14 №2 специалистами аглофабрики совместно со специалистами СНТ были проведены пусконаладочные работы (ПНР) на машине КМ-14 №2 после ее модернизации путем замены горна и штатной горелки с полупредварительным смешением на шесть горелочных устройств (ГУ), реализующих струйно-нишевую технологию сжигания газообразного топлива.

В результате проведения ПНР машина КМ-14 №2 выведена на штатную производительность с сохранением качества готового продукта. При этом расход потребляемого газа снижен примерно в 2 раза по сравнению с состоянием до модернизации и в сравнении с расходами не модернизированных машин и составил $120 \div 130 \text{ м}^3/\text{ч}$ против $245 \div 270 \text{ м}^3/\text{ч}$ на штатном ГУ. Во время ПНР скорость движения ленты и толщина слоя на всех машинах КМ-14 поддерживались идентичными.

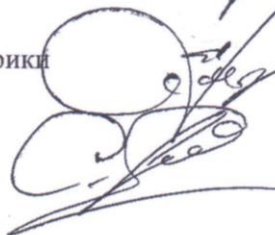
От аглофабрики ЧАО «ММК им.Ильича»:

Директор по аглодоменному производству –
Начальник аглофабрики



Е.А. Кашкаров

Первый заместитель начальника аглофабрики



А.Е. Турбаба

Зам. начальника а/ф по инжинирингу

С.Е. Савинкин

От «Струйно-нишевая технология»:

Технический руководитель программы СНТ

Г.Р. Дворцин

Директор по развитию

Н.Н. Чувашов

ДОДАТОК Е

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«НАУКОВО-ВИРОБНИЧА КОМПАНІЯ «СТРУМЕНЕВО-НИШОВА ТЕХНОЛОГІЯ»

тел./факс: +38 (044) 462-52-62
e-mail: npk.snt@gmail.com
www.sn-technology.com



вих. № 37/2 від 11.02.2020 р.

АКТ

Даним актом підтверджується, що аспірант кафедри ТЕУ Т і АЕС Теплоенергетичного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»; група ТС-91ф, - Бетін Юрій Олексійович, проводив експериментальні дослідження робочого процесу ПП СНТ-11 у складі печі випалу вапна КМ-14 на гранично малих витратах палива.

Результати досліджень використано під час проектування газопостачання печей КМ-14, а також агломераційних печей агломераційної фабрики ММК «ім. Ілліча» у місті Маріуполь.

З повагою,
Комерційний директор



В.П. ПИЛИПЧУК



FRANZ HAAS • MEINCKE • MONDOMIX • STEINHOFF

Referenz

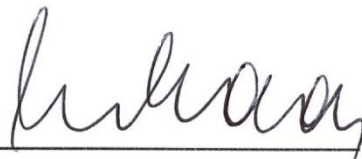
Die Firma «SNT», vertreten durch die Herren Abdulin Michael, Dvortsyn Gennady und Bietin Yurii, hat im Auftrag der Firma «Haas Food Equipment GmbH» eine Studie über die Effizienz von industriellen Süßwarenöfen in Fabriken in Dänemark und Österreich durchgeführt.

Im Ergebnis der Studien wurden Berichte und Empfehlungen von «SNT» erstellt, die zur Verbesserung der Produktionsprozesse genutzt wurden.

Datum

10. Mai 2023

Unterschrift



ДОДАТОК 3

Відносний крок	Витрата газу	α
2,5	1 м. куб/год	2

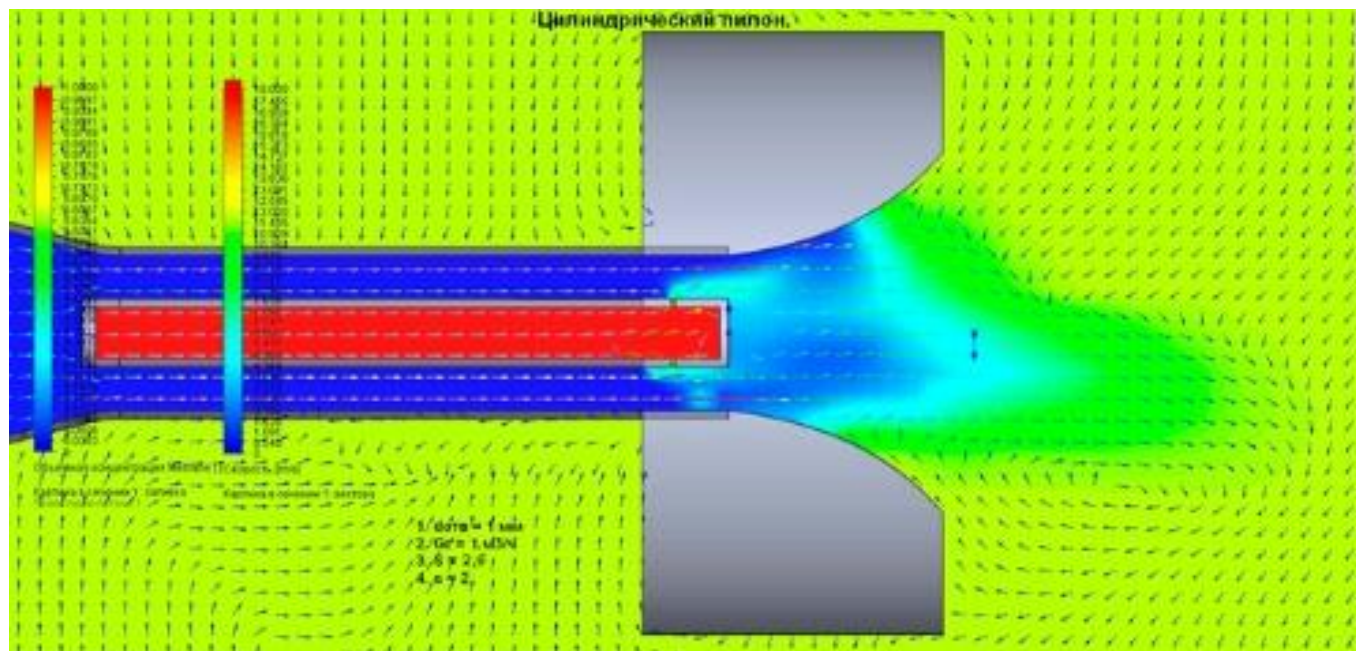


Рис.6.6 Поле концентраций природного газа на выходе из горелочного

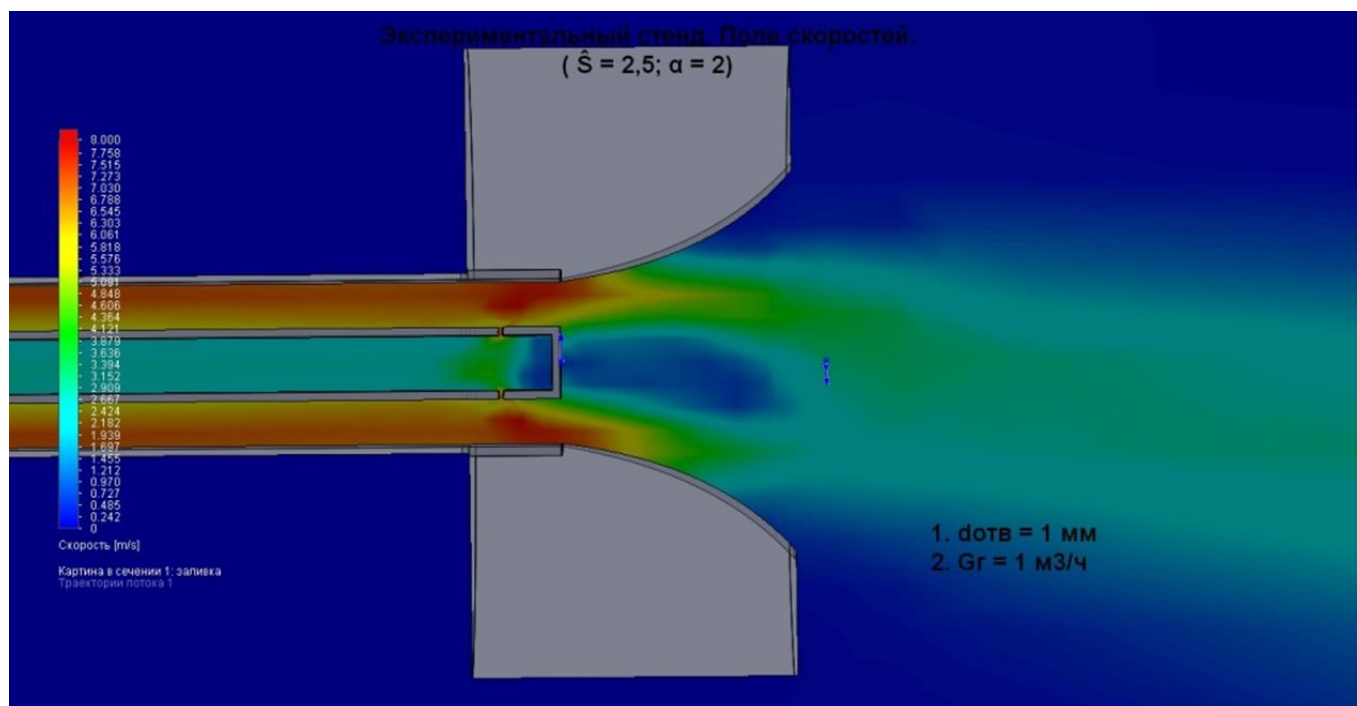


Рис.6.7 Поле швидкостей на виході з пальника

Відносний крок	Витрата газу	α
2,5	3 м. куб/год	2

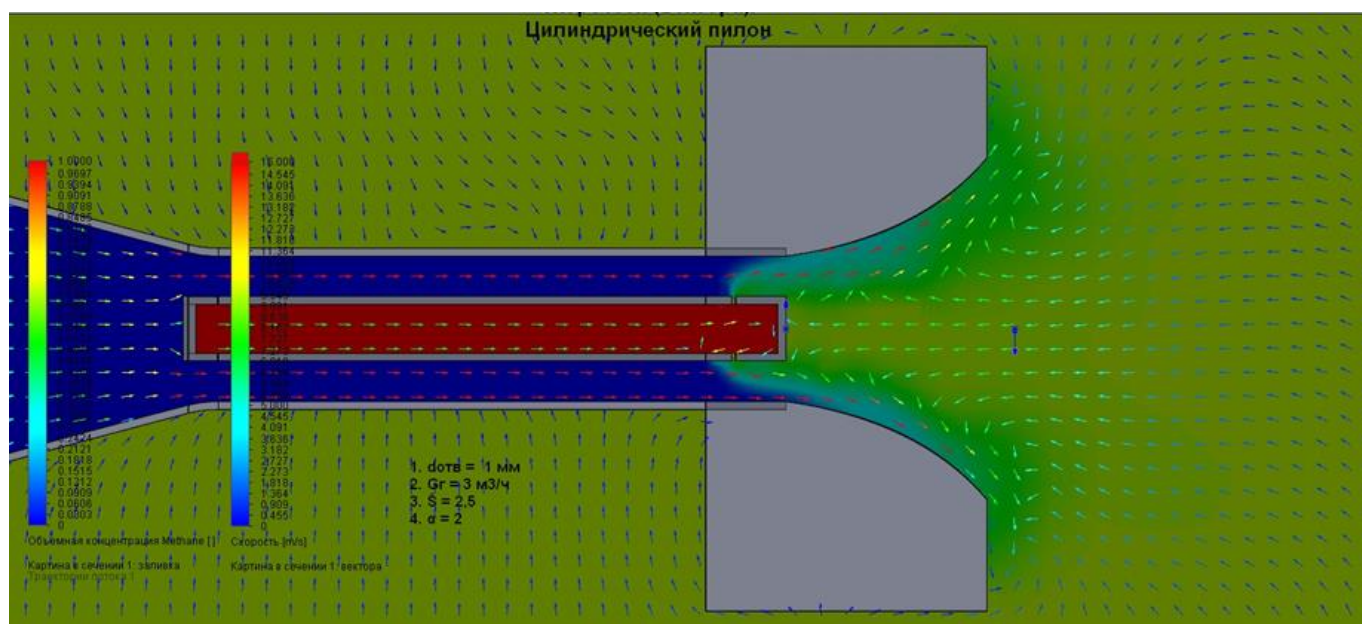


Рис.6.8 Поле концентрацій природного газу на виході з пальника.

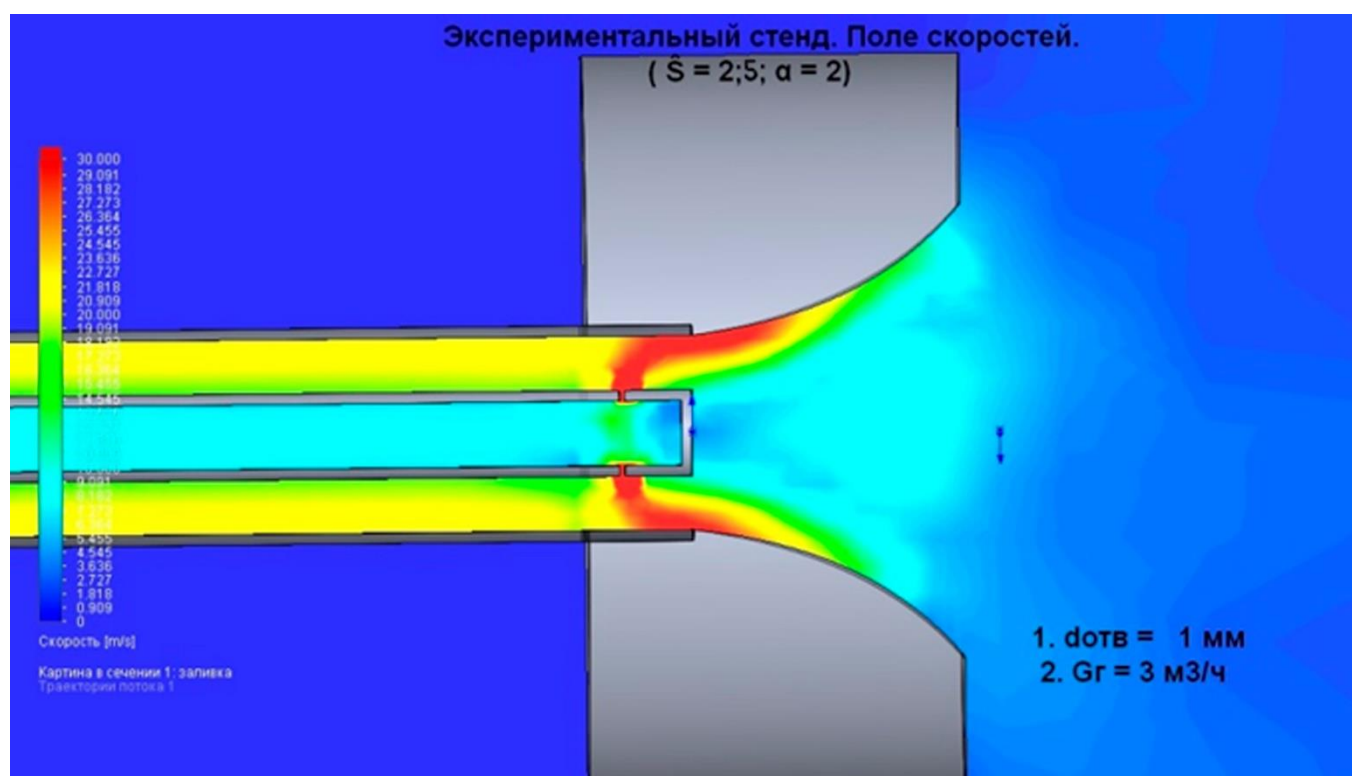


Рис.6.9 Поле швидкостей на виході з пальника

Відносний крок	Витрата газу	α
2,5	5 м. куб/год	2

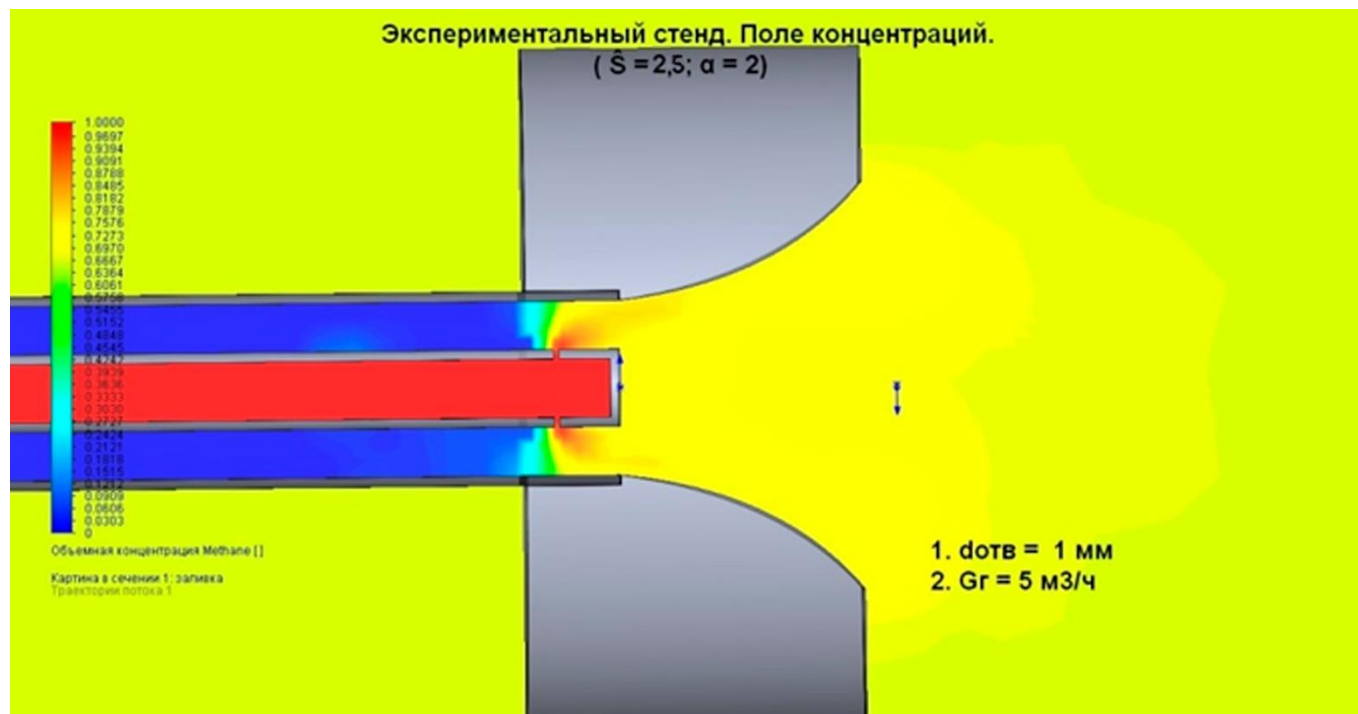


Рис.6.10 Поле концентрацій природного газу на виході з пальника.

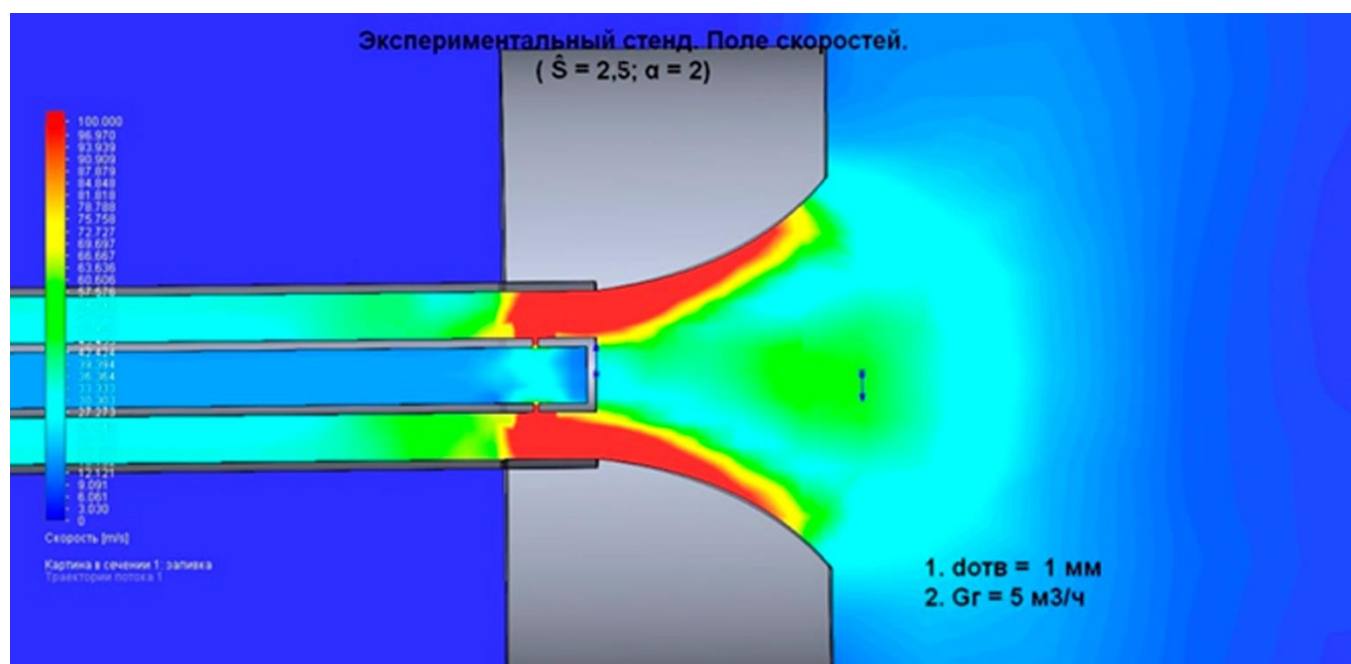


Рис.6.11 Поле швидкостей на виході з пальника

Відносний крок	Витрата газу	α
3	1 м. куб/год	2

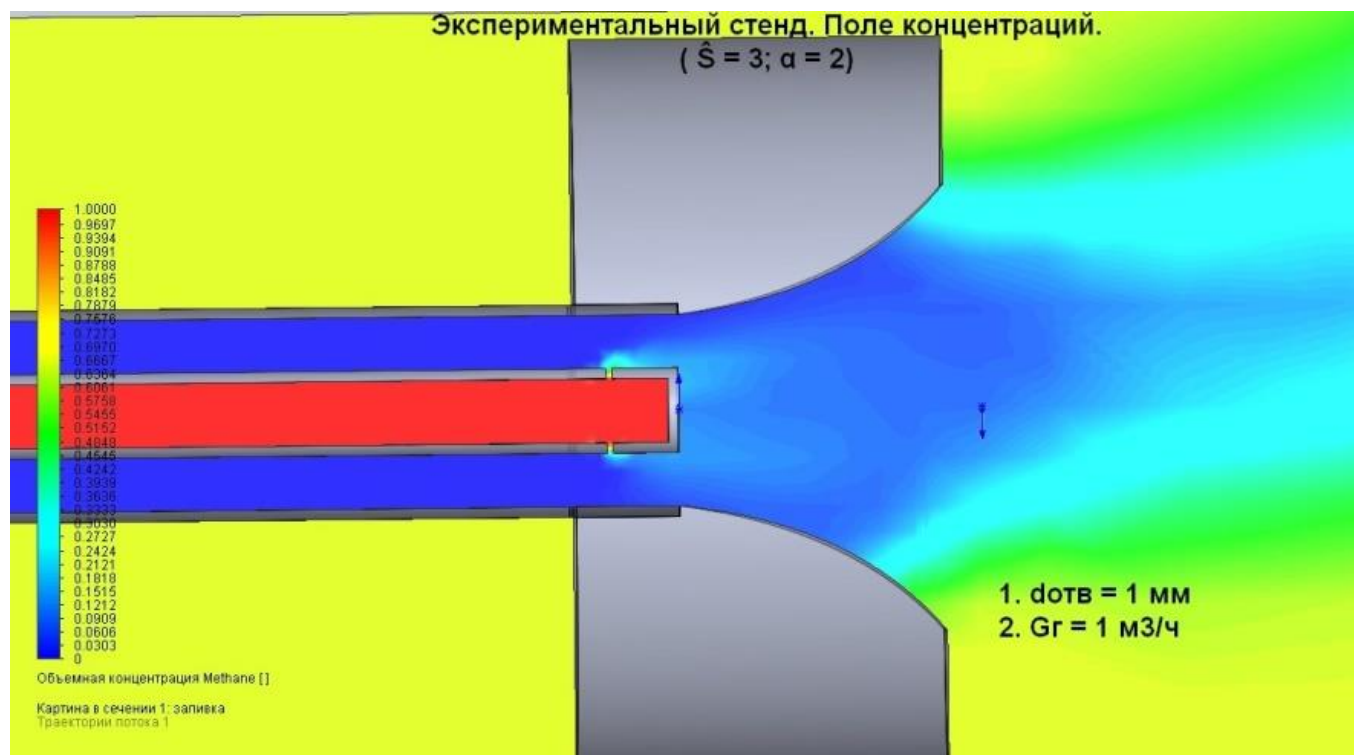


Рис.6.12 Поле концентрацій природного газу на виході з пальника.

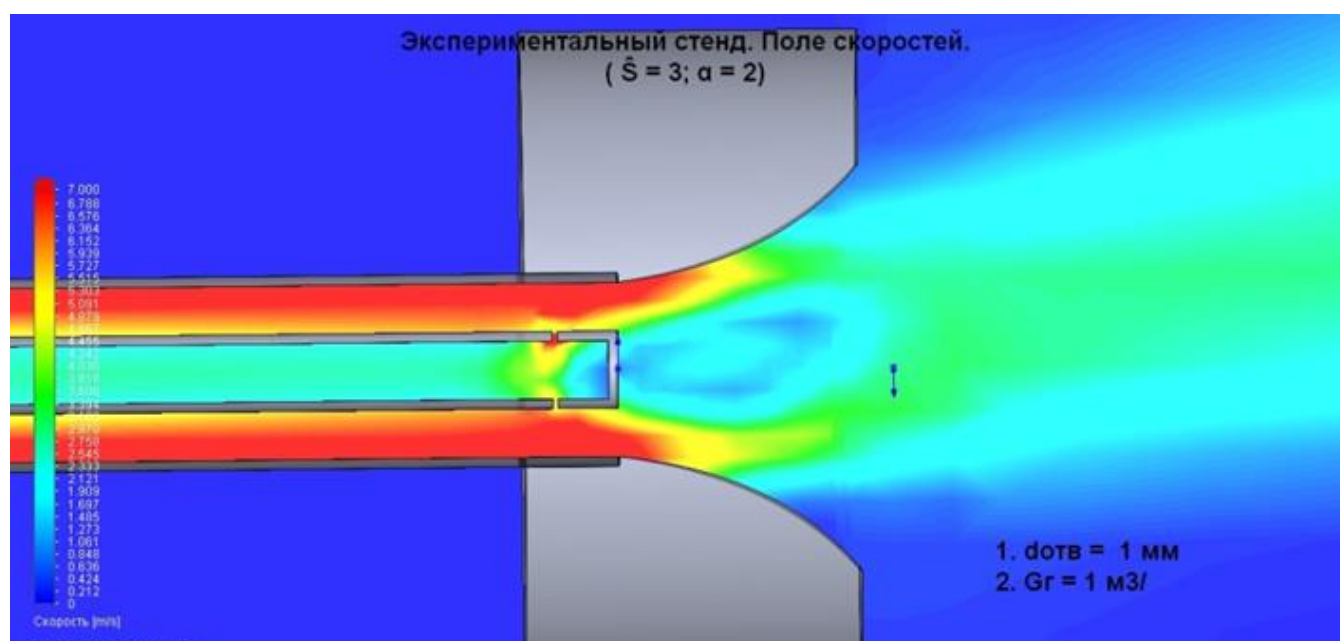


Рис.6.13 Поле швидкостей на виході з пальника

Відносний крок	Витрата газу	α
3	3 м. куб/год	2

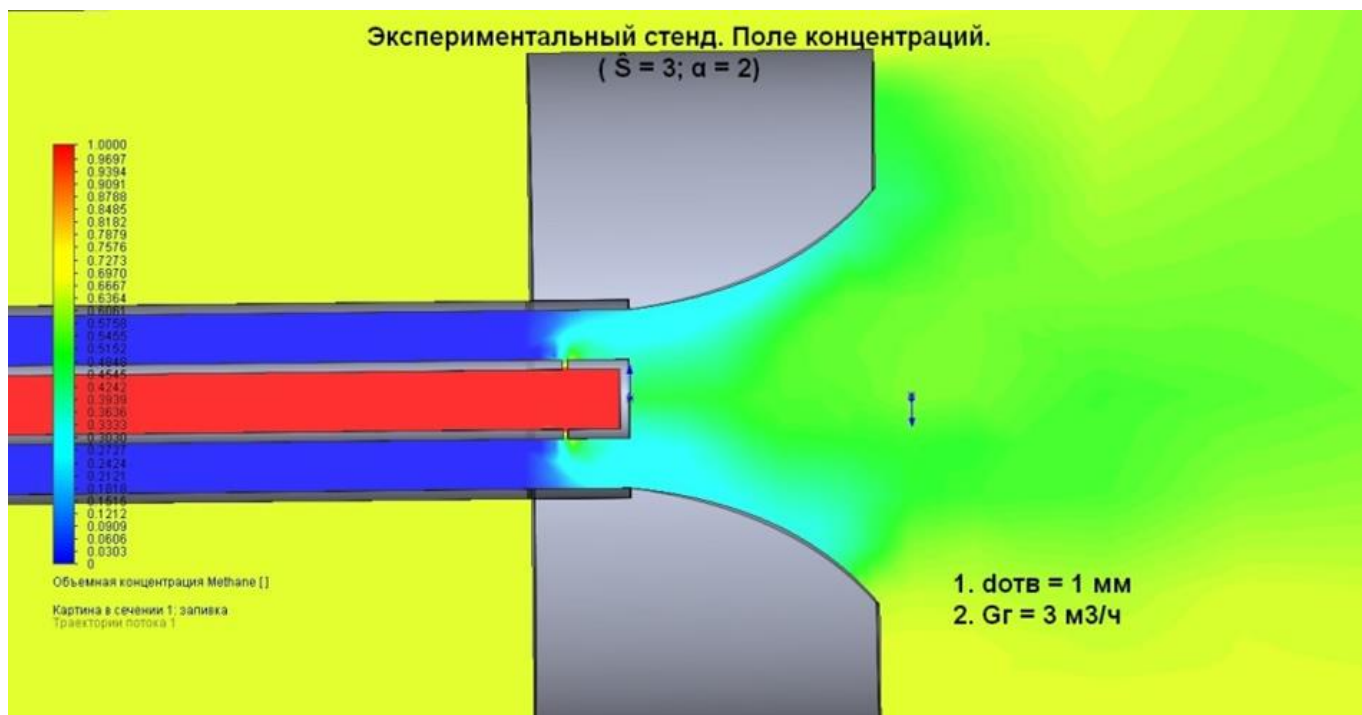


Рис.6.14 Поле концентраций природного газа на выходе з пальника.

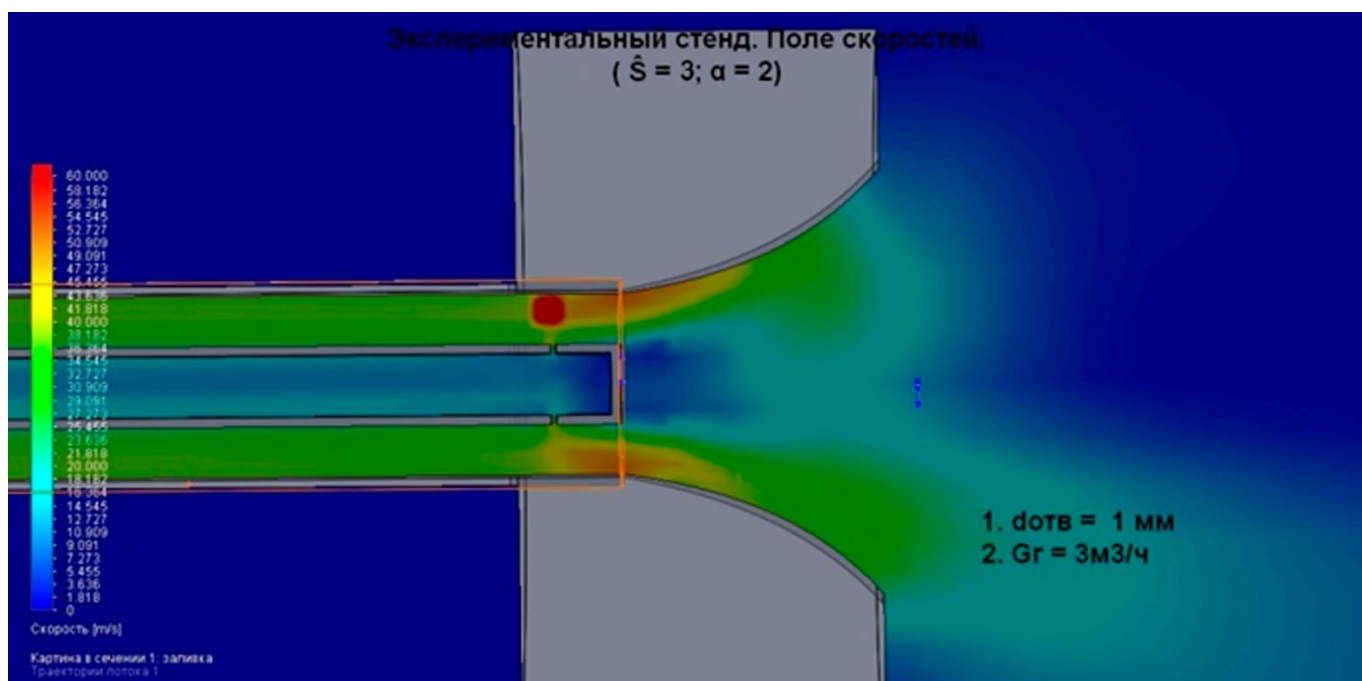


Рис.6.15 Поле швидкостей на виході з пальника

Відносний крок	Витрата газу	α
3	5 м. куб/год	2

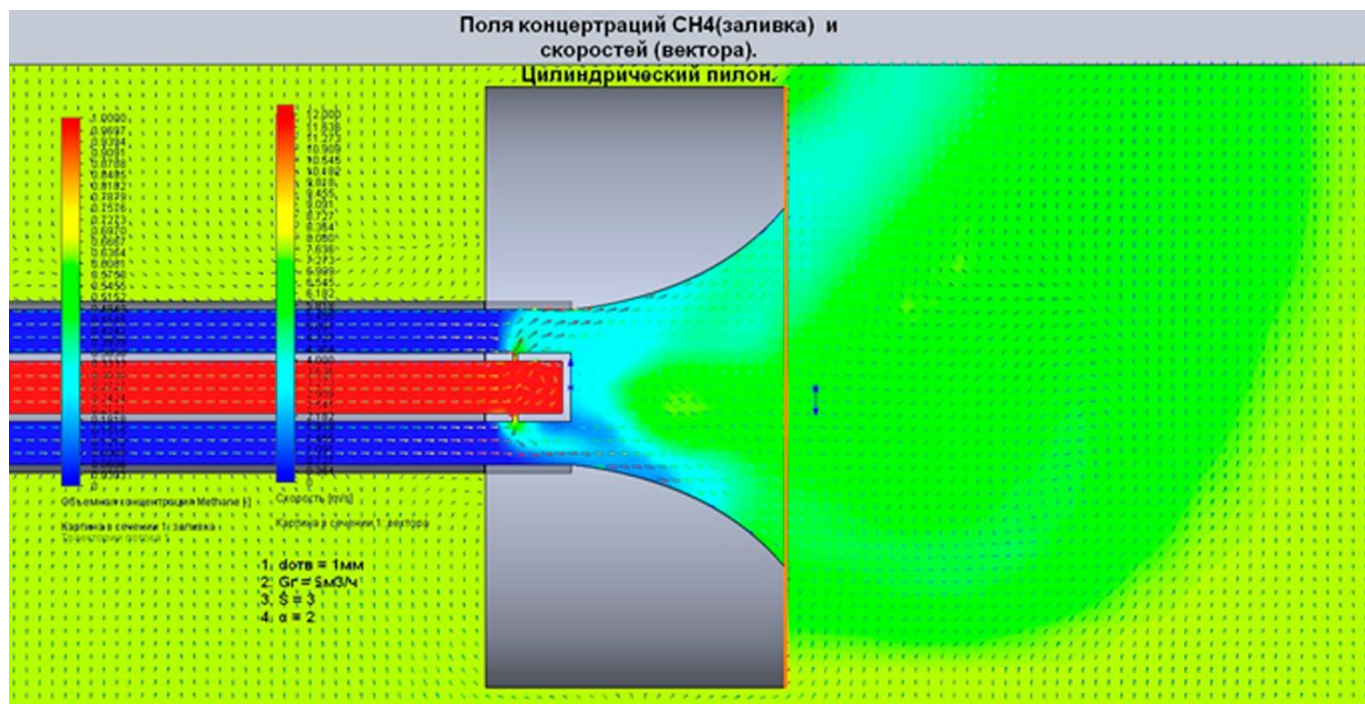


Рис.6.16 Поле концентраций природного газа на выходе з пальника.

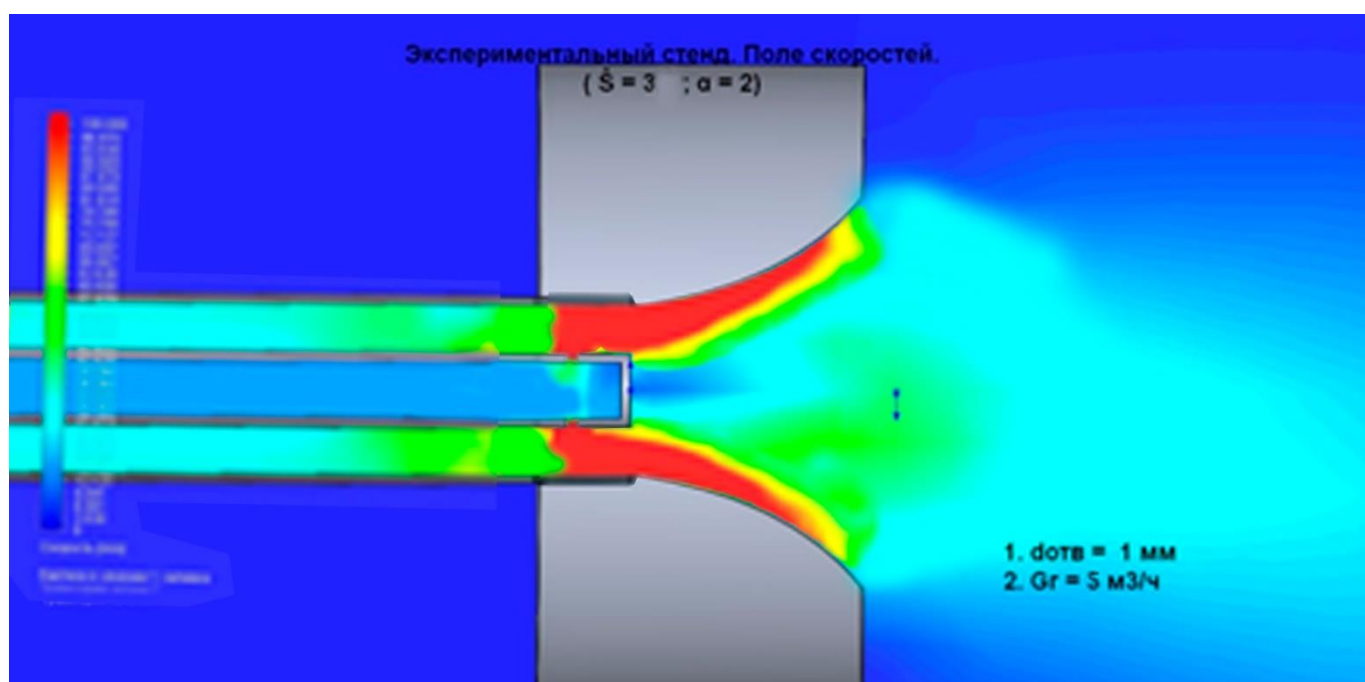


Рис.6.17 Поле швидкостей на виході з пальника

Відносний крок	Витрата газу	α
3,5	1 м. куб/год	2

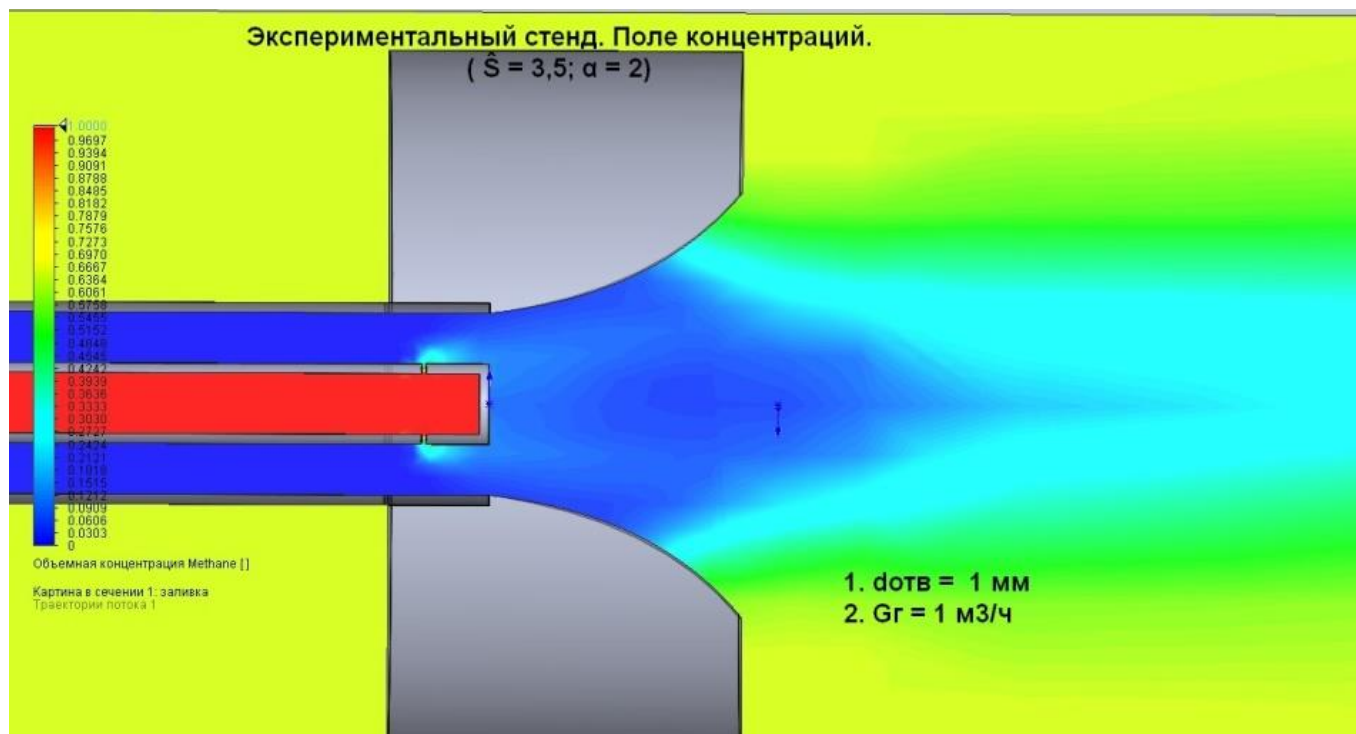


Рис.6.18 Поле концентраций природного газа на выходе з пальника.

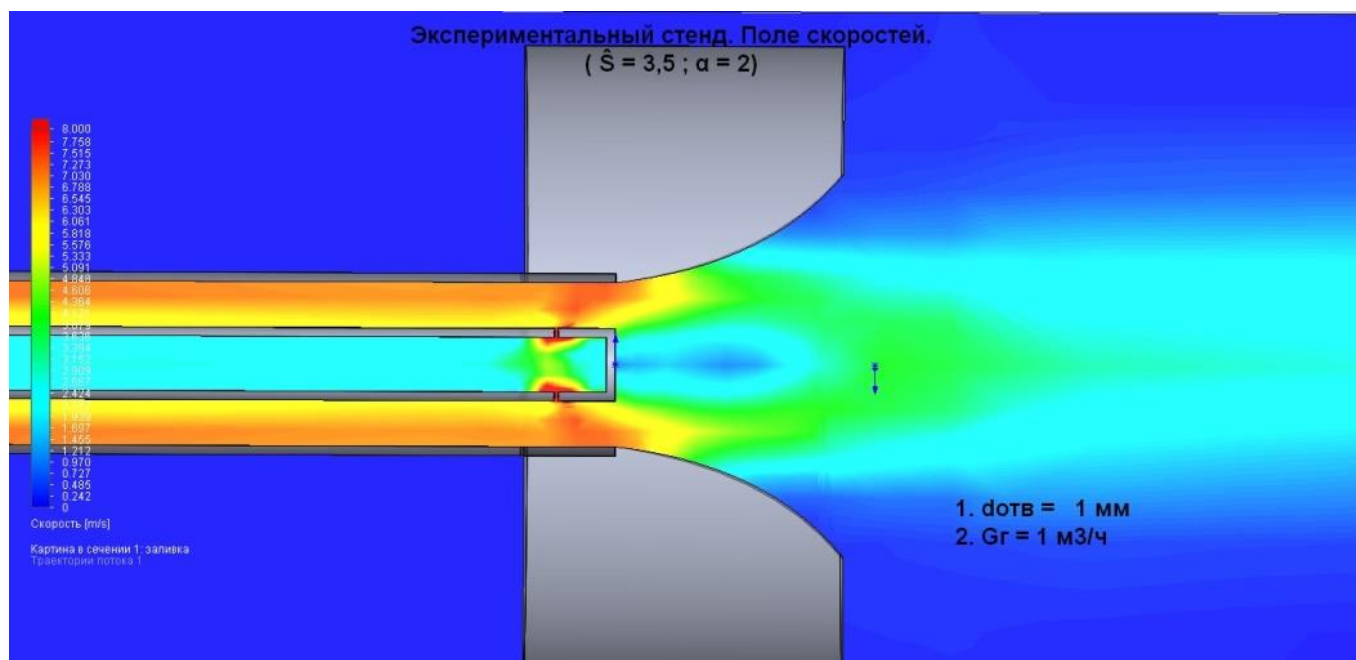


Рис.6.19 Поле швидкостей на виході з пальника

Відносний крок	Витрата газу	α
3,5	3 м. куб/год	2

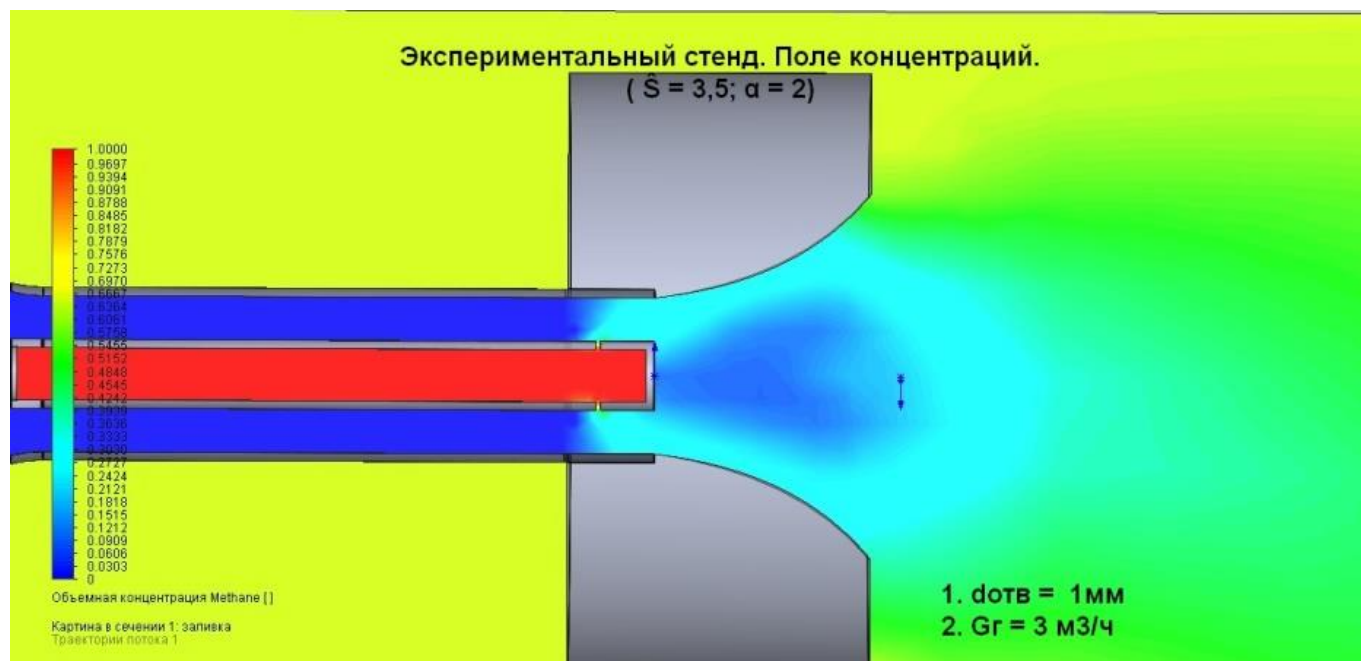


Рис.6.20 Поле концентраций природного газа на выходе з пальника.

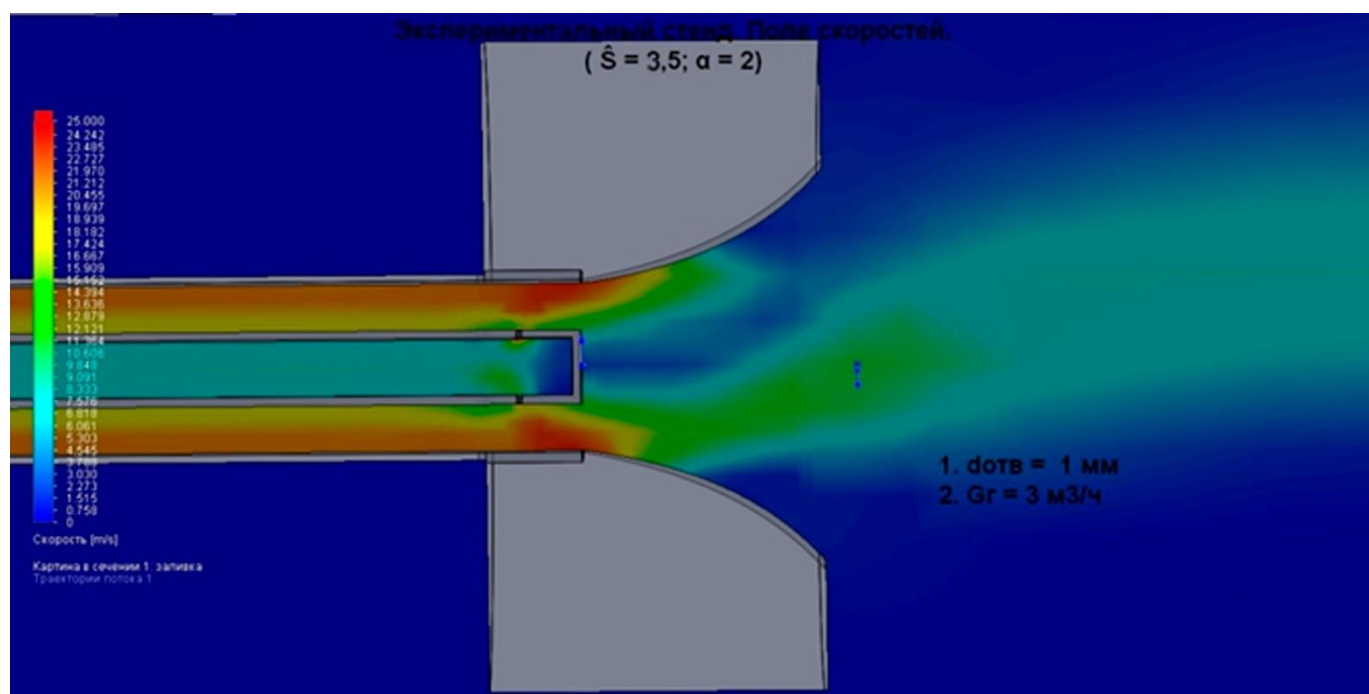


Рис.6.21 Поле швидкостей на виході з пальника

Відносний крок	Витрата газу	α
3,5	5 м. куб/год	2

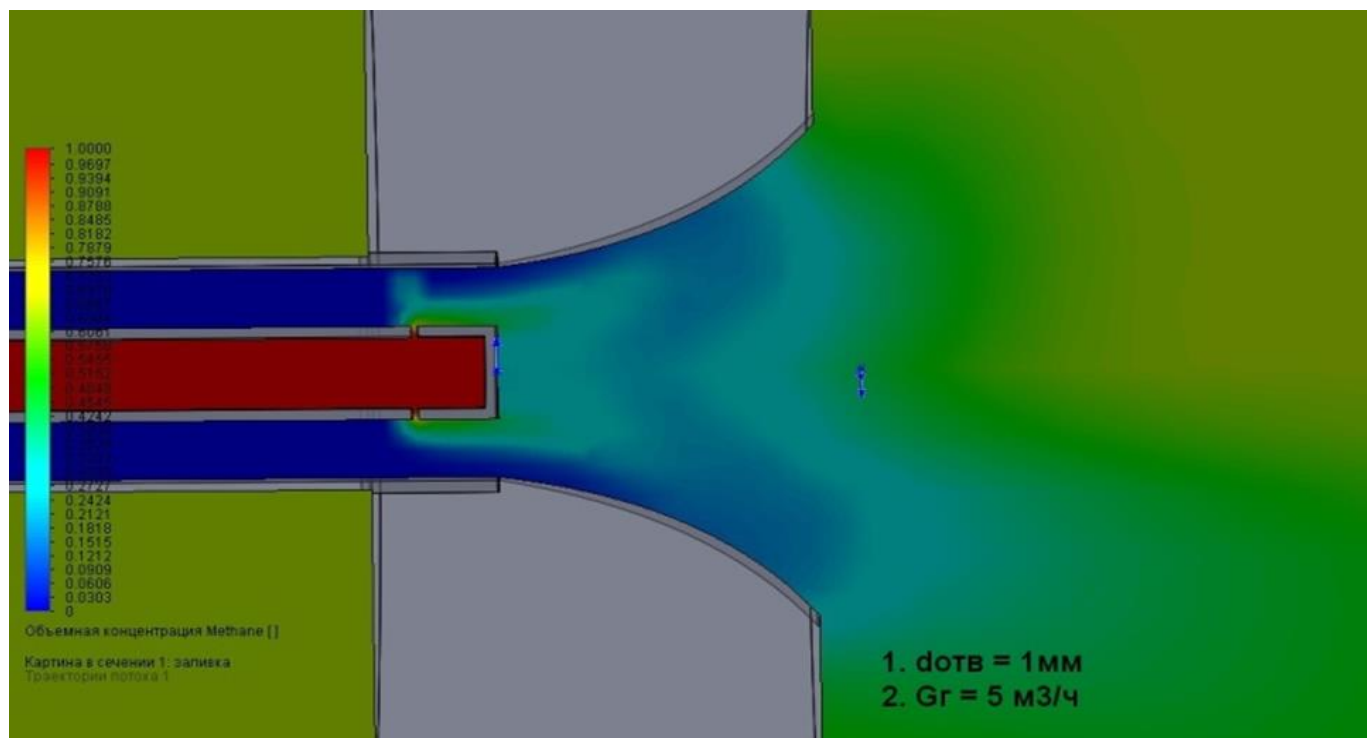


Рис.6.22 Поле концентрацій природного газу на виході з пальника.

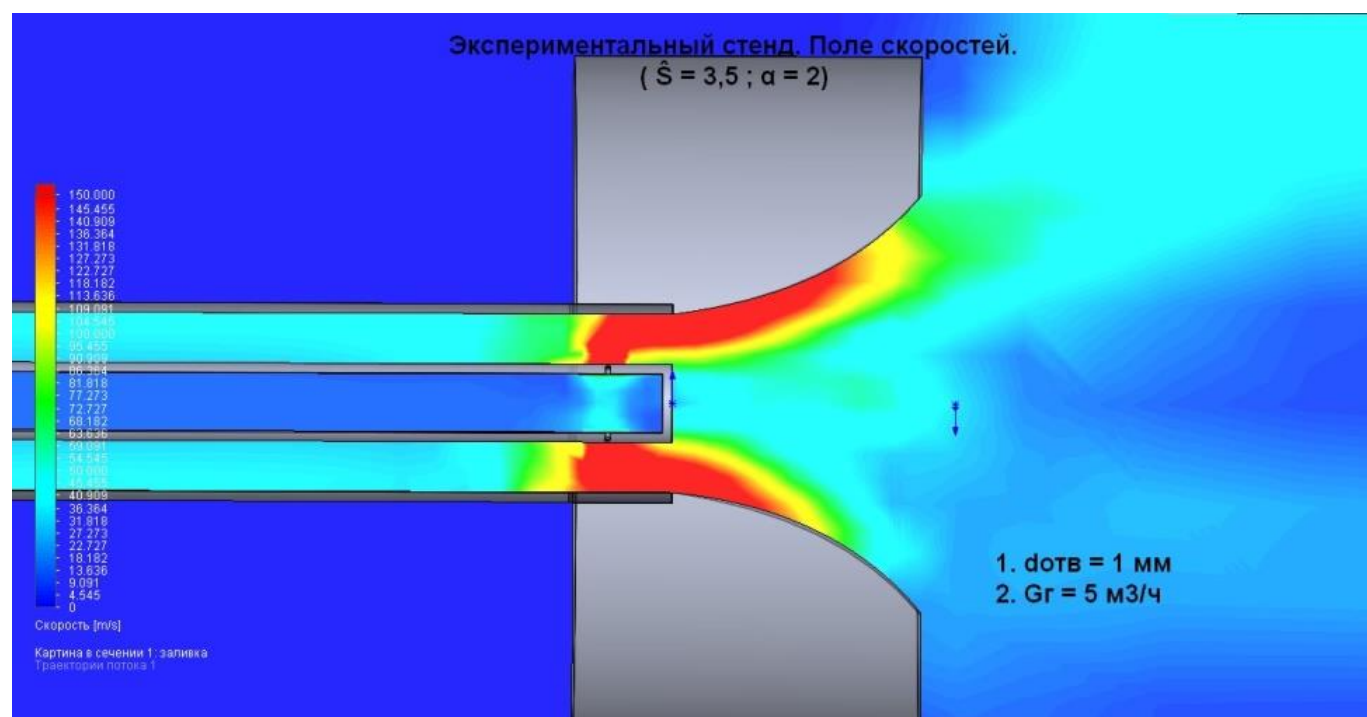


Рис.6.23 Поле швидкостей на виході з пальника