

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
Факультет інженерних систем і екології
Кафедра теплотехніки**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗДОБУВАЧА СТУПЕНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ МАГІСТР**

на тему:

**Дослідження процесів горіння паливних пелет у котлах
твердопаливної котельні з механічною подачею палива**

Куцевича Павла Олександровича

Київ 2025 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
Факультет інженерних систем і екології
Кафедра теплотехніки**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Михайло КИРИЧЕНКО
« ____ » _____ 2025 року

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗДОБУВАЧА СТУПЕНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ МАГІСТР**

**Дослідження процесів горіння паливних пелет у котлах
твердопаливної котельні з механічною подачею палива**

Як здобувач вищої освіти КНУБА розумію і підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував незгодувану допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач **Куцевич Павло
Олександрович**
192 «Будівництво та цивільна
інженерія»
ОПП «Теплогазопостачання і
вентиляція»
Група ТВМ-24-2
Керівник: **Пасічник П.О.**
доцент, кандидат технічних наук

Рецензент

Ідентичність підтверджую

Київ 2025 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: інженерних систем і екології
Випускова кафедра: теплогазопостачання і вентиляції
Освітній вищої освіти: Магістр
Спеціальність: 192 Будівництво та цивільна інженерія
Освітня програма: Теплогазопостачання і вентиляція

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри теплотехніки

_____ Михайло КИРИЧЕНКО

«___» _____ 2025 року

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧА СТУПЕНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ МАГІСТР**

Куцевич Павло Олександрович

1. Тема роботи «Дослідження процесів горіння паливних пелет у котлах твердопаливної котельні з механічною подачею палива», затверджена наказом ректора КНУБА № _____ від _____ року.
2. Керівник роботи: Пасічник Павло Олександрович, кандидат технічних наук, доцент.
3. Термін подання студентом роботи до захисту 22.12.2025 року
4. Зміст пояснювальної записки за розділами:
 - Р. 1. Вихідні дані.
 - Р. 2. Тепломеханічна частина котельні.
 - Р. 3. Опалення і вентиляція.
 - Р. 4. Паливоподача.
 - Р. 5. Моделювання процесів горіння у топці котла.
 - Р. 6. Особливості спалювання агропелет низької якості.
5. Графічний матеріал за розділами:
 - Р.2. Л1. Принципова теплова схема;
 - Р.2. Л.2. План на відм. 0.000;
 - Р.2. Л.3. Розріз 1-1, розріз 2-2, розріз 3-3, розріз 4-4;
 - Р.4. Л.4. Устаткування паливоподачі;
 - Р.4. Л.5. Система димовидалення;
 - Р.5. Л.6. Результати моделювання теплогідравлічного стану котла;
 - Р.5. Л.7. Розподіл параметру Mean Mixture Fraction у центральному перетині топкової камери;
 - Р.5. Л.8. Результати моделювання параметрів виходу летючих та ступеню вигорання вуглецю;

Р.5. Л.9. Результати моделювання температури та розподілу масової доли компонента реакції;

6. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірів	
		Дата	Підпис

7. Календарний план виконання роботи:

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Вступ	квітень 2025 р.
Розділ 1. Вихідні дані	квітень 2025 р.
Розділ 2. Тепломеханічна частина котельні	червень 2025 р.
Розділ 3. Опалення і вентиляція	липень 2025 р.
Розділ 4. Паливоподача	вересень 2025 р.
Розділ 5. Моделювання процесів горіння у топці котла	жовтень 2025 р.
Розділ 6. Особливості спалювання агропелет низької якості	грудень 2025 р.
Остаточне оформлення роботи	грудень 2025 р.
Направлення роботи для перевірки на плагіат	грудень 2025 р.
Направлення роботи на рецензування	грудень 2025 р.

8. Дата видачі завдання _____

Керівник _____ Пасічник П.О.
(підпис)

Здобувач _____ Куцевич П.О.
(підпис)

РЕЗЮМЕ (SUMMARY) <i>до кваліфікаційної випускної роботи здобувача:</i>		Куцевич Павло Олександрович <i>Kutsevych Pavlo Oleksandrovych</i>	
<i>ЗВО</i>	Київський національний університет будівництва і архітектури		
<i>Тема (українською та англійською)</i>	Дослідження процесів горіння паливних пелет у котлах твердопаливної котельні з механічною подачею палива / Investigation of combustion processes of burning pellets in boilers solid fuel boiler house with mechanical fuel supply.		
<i>Освітній ступінь</i>	Магістр		
<i>Факультет</i>	Інженерних систем та екології		
<i>Випускова кафедра</i>	Теплотехніки		
<i>Спеціальність</i>	192 «Будівництво та цивільна інженерія»		
<i>Освітня програма</i>	Теплогазопостачання і вентиляція		
<i>Керівник</i>	к.т.н., доц. Пасічник П.О.		
<i>Обсяг роботи:</i>	<i>пояснювальна записка, стор.</i>	<i>розділів</i>	<i>креслень формату А1</i>
	83	6	9
<i>Вступ</i>			
<i>Розділ 1</i>	Вихідні дані		
<i>Розділ 2</i>	Тепломеханічна частина котельні		
<i>Розділ 3.</i>	Опалення і вентиляція		
<i>Розділ 4.</i>	Паливоподача		
<i>Розділ 5.</i>	Моделювання процесів горіння в топці котла		
<i>Розділ 6.</i>	Особливості спалювання агропелет низької якості		
<i>Висновки по роботі:</i>	<p>1. Запроектовано твердопаливну пелетну котельню з механічною подачею палива та бункером сезонного запасу палива. Потужність котельні складає 600кВт.</p> <p>2. Встановлено, що агропелети за своїми теплотехнічними характеристиками можуть вдало конкурувати з традиційними із деревини. Враховуючи їх енергетичні характеристики припустимо заміна традиційного палива (природного газу та вугілля) на підприємствах АПК де утворюються ці відходи на агропелети. Враховуючи безперервний тренд збільшення вартості енергоносіїв з одного боку та безкоштовність відходів й зменшення витрат на їх утилізацію можливо очікувати економічну привабливість використання агропелет.</p> <p>3. В роботі наведено результати розрахунку горіння пелет за допомогою скінчено-елементних CFD-моделей котла і пальника. Комп'ютерна модель є чутливою до теплофізичних властивостей реагуючих компонентів і кінетики реакцій, проте коректне їх задання дозволить проводити досить точну оцінку аеродинамічної структури потоку в</p>		

	пальниках і топці котла, в яку даний пальник встановлено, а також емісійних характеристик викидів при спалюванні біомаси.
<i>Ключові слова:</i> <i>Keywords:</i>	Твердопаливні котельні, спалювання біомаси, агропелети, ефективність пальників / Solid burning boiler houses, biomass burning, agropellets, efficiency of burning furnaces

Здобувач: _____/Павло КУЦЕВИЧ/

Керівник: _____/Павло ПАСІЧНИК/

15 грудня 2025 року

ЗМІСТ

ЗМІСТ	1
ВСТУП.....	2
1. ВИХІДНІ ДАНІ	7
1.1 Кліматичні дані	7
1.2. Коротка характеристика об'єкта, дані про проектну потужність об'єкта.	10
2 ТЕПЛОМЕХАНІЧНА ЧАСТИНА КОТЕЛЬНІ	12
2.1. Теплова схема котельні	12
2.2. Підбір основного обладнання	15
2.2.1. Підбір циркуляційних насосів	15
2.2.2. Підбір розширювальних баків	17
2.2.3. Підбір триходового клапана	18
3. ОПАЛЕННЯ І ВЕНТИЛЯЦІЯ	24
3.1. Опалення	24
3.2. Вентиляція	24
4. ПАЛИВОПОДАЧА	27
5. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ГОРІННЯ В ТОПЦІ КОТЛА	29
5.1. Методи математичного моделювання процесів спалювання пелет	29
5.2. Моделювання горіння пелет у побутових котлах малої потужності в середовищі програмного комплексу ANSYS-Fluent	36
5.2.1. Методика CFD-моделювання	36
5.2.2. Теплогідравлічні особливості течії в «водяній сорочці» CFD-моделі котла	40
6. ОСОБЛИВОСТІ СПАЛЮВАННЯ АГРОПЕЛЕТИ НИЗЬКОЇ ЯКОСТІ.....	50
6.1. Загальна характеристика агропелет	50
6.2. Рекомендації щодо підбору пальників під агропелети низької якості	53
Література	58
Додаток 1. Підбір насосів.....	62
Додаток 2. Підбір розширювальних баків	72
Додаток 3. Підбір триходового клапана	73

Зам. інв. №							Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
Підпис і дата								1
Інв. № ор.								
	Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата		

ВСТУП

В моїй роботі розробляється твердопаливна котельня з механічною подачею палива потужністю 600кВт для потреб агропромислового підприємства (елеватора) «Земля і воля» у м. Бобровиця, Чернігівської обл. І на основі цієї котельні проводиться дослідження щодо використання агропелет низької якості, які підприємство планує виготовляти самостійно з відходів аграрного виробництва.

У котельні передбачено встановлення двох твердопаливних котлів MARTEN Industrial тепловою потужністю 600 кВт (2 котли по 300 кВт кожен) з автоматичною подачею палива.

Теплоносій - вода з параметрами - 90-70°C.

Система теплопостачання - замкнута зі штучною циркуляцією. В якості мережевих насосів для системи теплопостачання прийнятий здвоєний натрубний насос фірми IMP Pumps (Словенія), модель CLD 65-240/2D (1 - робочий, 1 - резервний).

В якості циркуляційного насоса для кожного контуру нагріву котла прийнятий натрубний насос марки IMP Pumps (Словенія), модель GHN basic 50-120F (резервний насос зберігати на складі).

Статичний тиск в системі опалювання підтримується за допомогою розширювального баку місткістю 500 літрів ERCE 500, фірми ELBI, Італія.

Підживлення, первинне і аварійне заповнення системи передбачені пом'якшеною водою підживлювальним насосом типу KF1 (1-робочий, 1-резервний) з проектного баку запасу води місткістю 0,5 м³. Пом'якшення води, циркулюючої в системі теплопостачання, передбачено системою зм'якшування води ECOSOFT FK 1054 CE, США.

Видалення димових газів передбачено системою газоходів і проєктованими димовими трубами для кожного котла. Проектом передбачені ізольовані димові

Зам. інв. №							Арк.
Підпис і дата							Арк.
Інв. № ор.							Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата		

Кваліфікаційна робота магістра

Арк.

2

труби виробництва фірми "Вент-Устрій", Україна. Очистка димових газів здійснюється в циклонах, типу Ц-11.

Котельня комплектується пелетними пальниками OXI Ceramik F+300, для котлів MARTEN Industrial тепловою потужністю 300 кВт, відповідно з проміжним бункером і шнеком транспортування пелет до пальників. На вулиці встановлюється великий силос на 40 метрів кубічних, що забезпечує паливом котельню протягом року.

Котельня передбачує спалювання пелет низької якості, що виготовляються з відходів після збору і обробки кукурудзи, соняшника, гречки і т.п. Це може призвести до значного погіршення роботи пальників і котельні в цілому, що розраховані на зпалювання високоякісних деревних пелет. Для цього в роботі проведено дослідження, що направлено на вдосконалення існуючих чи розробку інноваційних пальників, з метою їх ефективної інтеграції до більшості існуючих котлів, із забезпеченням високої теплової ефективності та дотриманням відповідних екологічних вимог. Методи дослідження: чисельні із застосуванням сучасних комп'ютерних засобів моделювання гідродинаміки, теплообміну і горіння, зокрема, CFD-моделювання системи котел-виносний пелетний пальник, яку реалізовано засобами комерційного пакету ANSYS-Fluent.

Відомо, що явища переносу імпульсу і маси в хімічно реагуючих потоках описуються досить складною нелінійною системою рівнянь в часткових похідних. Ця система містить рівняння нерозривності, осереднені по Рейнольдсу рівняння збереження енергії, імпульсу і маси (Нав'є-Стокса), а також рівняння переносу і-го компонента суміші, які розв'язуються чисельними методами в середовищі Ansys-Fluent. Для моделювання складових тензора напруг Рейнольдса реалізовано підхід Буссінеска, який є найбільш поширеним при чисельному моделюванні.

Під час виконання дослідження було проведено моделювання топкової камери котла на твердому паливі Marten Industrial потужністю 300 кВт.

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ор.

						Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
							3
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

Результати моделювання теплогідравлічного стану об'єкту приведені на рис. 5. Як видно, топкова камера в об'ємі обмежена «водяною сорочкою». зверху розташовується теплообмінник, конструкція якого являє собою додаткову секцію гідравлічної системи котла, що складається з оребрених труб. Така секційна конструкція котла дозволяє набирати необхідну потужність, а збільшення площі теплообміну за рахунок теплообмінника підвищує ефективність утилізації теплоти відхідних газів. Отримані температурні градієнти показують, що температура теплоносія на виході становлять 57 °С, що відповідає робочому режиму опалювальної системи, а розрахунковий підігрів води у котлі не суперечить паспортним даним і не перевищує 15 °С. Швидкість циркуляції обрана з огляду на паспортні характеристики і складає 1 м/с .

Високотемпературна зона за результатами моделювання відповідає дійсній картині розвитку факелу і утворюється примусовим обдуванням підігрітого палива на спеціально обладнаній запальним тенем платформі пальника. значні швидкості подачі окисника на деяких режимах сприяють безпосередньому контакту високонагрітих продуктів спалювання у факелі з фронтною стінкою топкової камери. за виключенням об'ємної зони існування факелу, температурне поле у розрізі топки достатньо рівномірне з верхньою межею біля 520 °С. Слід відмітити досить високі значення температур у зоні виходу продуктів спалювання з топки до димоходу (більше 300°С), але такі рівні температур відповідають результатам вимірювань у точці відбору проб для проведення газового аналізу, де одночасно з проведенням газового аналізу фіксувалася також температура. Використаний пакет прикладних програм обчислювальної гідродинаміки ANSYS-Fluent має досить широкі можливості стосовно розрахунку та візуального представлення розрахункових параметрів. Також приведений розподіл Mean Mixture Fraction, що показує межі, де вуглець і летючі переходять з твердої в газоподібну фазу. Орієнтовно, приведені результати слід інтерпретувати як такі, що моделюють вихід твердих часток. Процес утворення незгорілих летючих твердих частинок є показовим при спалюванні

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ор.

						Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
							4
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата		

твердих палив будь-якого походження і потребує контролю при експлуатації твердопаливних котлів. Очевидно, що найбільш інтенсивний процес переходу до газової фази відбувається у пальнику і в області існування факелу, але при зміні режимів горіння процес реагування вугле-цю уповільнюється, займаючи при цьому майже весь об'єм топки.

В роботі представлені результати моделювання параметрів Evaporation/Devolatilization (DPM вихід ле-тучих); DPM Burnout (ступінь вигорання вугле-цю); - розподіл масової долі компонента реакції CO, температурні поля з лініями струмів реагуючого потоку у центральному перетині топкової камери при різних режимах горіння.

Розподіл наведених параметрів корелюється з гідродинамічною картиною потоку реагуючої суміші. На всіх представлених режимах видно, що існує розвинений факел реагуючих компонентів палива, який розповсюджується у горизонтальному положенні фактично відбиваючись від фронтальної стінки топки і заповнює продуктами горіння як нижню подову частину, так і її загальний об'єм. При цьому, як показують розрахунки, верхня частина топкової камери до теплообмінника має більш рівномірний температурний розподіл у порівнянні з подовою частиною, де на більшості режимів відбувається охолодження факелу холодним повітрям і проходження реакції окиснення вуглецю сповільнюється. Найбільш інтенсивне згорання летких речовин у CO відбувається в полум'ї та у каналі пальника. Порівняння з температурними полями вказує на відповідність зон високої інтенсивності доокиснення CO та зон з температурою > 550 °C. Однак, турбулентність є ще одним фактором, який визначає остаточну картину швидкостей проходження реакції горіння. Реакції CO з CO₂ ще мають високу інтенсивність на вході в першу частину конвективного теплообмінника у зв'язку з досить високою концентрацією CO, досить високі температури для спалювання CO і підвищений рівень турбулентності, що забезпечується обтіканням оребрених труб. Слід зазначити, що у цих областях швидкість реакції горіння переважно обмежена рівнем турбулентності.

Зам. інв. №							Арк.
Підпис і дата							Арк.
Інв. № ор.							Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата	Кваліфікаційна робота магістра	
						5	

Результати також показують, що одна частина повітря для горіння, що виходить з пальника і тече під полум'ям, є надлишковою для процесів горіння (утворюючи там холодні зони, які можуть обмежувати швидкість реакцій горіння).

Інв. № ор.	Підпис і дата					Зам. інв. №	
						Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
							6
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата		

1. ВИХІДНІ ДАНІ

1.1 Кліматичні дані

Відповідно до даних, наведених у ДСТУ-Н В.1.1-27:2010, згідно архітектурно-будівельного районування території України, м. Київ знаходиться у І кліматичному районі - Північно-Західному (зона мішаних лісів).

Клімат відноситься до помірно-континентального, характеризується жарким посушливим літом і помірно м'якою, з частими відлигами, зимою. Спостерігаються різкі коливання температури, сильні вітри, снігові замети.

Середньорічна температура повітря складає 8,0 °С.

Найбільш холодним місяцем є січень із середньомісячною температурою - 4,7°С. Абсолютна мінімальна температура -26,0 °С. Самий спекотний місяць липень має середньомісячну температура +19,8 °С. Абсолютна максимальна температура +39,0 °С.

Тривалість періоду з середньодобовою температурою меншою і рівною 00С становить 90 діб. Заморозки ночами починаються з другої декади вересня і закінчуються в першій декаді травня.

Середньорічна кількість опадів, що випадають, становить 642 мм на рік, з них 547 випадають у вигляді дощу або мокрого снігу. Найбільша їх кількість випадає на червень місяць (68 мм), найменша на березень місяць (40 мм). У січні переважають вітри північно-східного напрямку, а в липні північного. Повторюваність штилю складає 6,3%.

Максимальна річна швидкість вітру - 24 м/с. Середня швидкість вітру - 3,59 м/с, переважає східний напрямок вітру. Середньорічна вологість становить 74 %.

Сніговий покрив у м. Києві зазвичай встановлюється наприкінці листопада — на початку грудня та зберігається до кінця лютого — початку березня. Середня висота снігового покриву становить 15–20 см, максимальна може досягати 40–50 см у роки з інтенсивними снігопадами. Тривалість

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ор.

						Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
							7
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата		

стійкого снігового покриву складає близько 80–90 діб. Узимку можливі хуртовини та заметілі, що ускладнюють транспортне сполучення.

Для району характерна помірна хмарність. Середньорічна тривалість сонячного сьйва становить приблизно 1800–1900 годин на рік, з максимумом у літній період. Найбільша кількість ясних днів спостерігається в липні–серпні, найменша — у грудні–січні.

У теплий період року можливі грозові явища, що супроводжуються зливовими опадами, шквалистим посиленням вітру та, в окремі роки, градом. Кількість грозових днів у середньому становить 25–30 днів на рік. Також характерними є тумани, переважно в осінньо-зимовий період, особливо у заплавах річок і знижених ділянках місцевості.

Згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 "Будівельна кліматологія" середні місячні та річні темперьакури полвітря в С° складають:

Таблиця 2

Середня місячна												Середня за рік температура повітря, °С	
Температура повітря													
Середня добова амплітуда температури													
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	7.0	
-4.7	-3.6	+1.0	+9.0	+15.2	+18.3	+19.8	+19.0	+13.9	+8.7	+1.9	-2.5		
6.4	5.7	6.6	8.8	9.8	9.6	9.4	9.6	9.1	7.5	4.7	4.7		

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ор.

						Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
							8
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата		

Таблиця 3

Середня по місяцям												Кількість опадів за рік, мм
$\frac{\text{Кількість опадів, мм}}{\text{Наявність снігового покриву, дні}}$												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	642
41	42	40	48	56	76	77	68	55	42	51	46	
26	25	17	-	-	-	-	-	-	-	7	20	

Нормативна глибина сезонного промерзання розрахована відповідно до ДБН В.2.1-10:2018 "Основи і фундаменти будівель та споруд" становить:

- для суглинків і глин 0,76 м,
 - для супісків, пісків дрібних і пилюватих 0.92 м,
 - для пісківгравійних, великих і середньої крупності 0.98 м,
- для великоуламкових ґрунтів 1.12 м.

Розрахункові параметри зовнішнього повітря	
Барометричний тиск	746 мм рт.ст.
Параметри "А":	
Холодний період року:	
Температура зовнішнього повітря	-10 °С
Ентальпія	-6,7 кДж/кг;
Теплий період року:	
Температура зовнішнього повітря	23,7 °С;
Ентальпія	53,6 кДж/кг;
Параметри "Б":	
Холодний період року:	
Температура зовнішнього повітря	-22 °С;
Ентальпія	-20,7 кДж/кг;
Швидкість вітру	4,2 м/с;
Теплий період року:	
Температура зовнішнього повітря	28,7 °С;
Ентальпія	56,1 кДж/кг;
Швидкість вітру	1 м/с
Тривалість опалювального періоду	176 діб

Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № ор.

Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата	Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
							9

1.2. Коротка характеристика об'єкта, дані про проектну потужність об'єкта.

Даним проектом передбачено будівництво модульної твердопаливної котельні на базі котлів MARTEN Industrial тепловою потужністю 600 кВт (2 котли по 300 кВт) з автоматичною подачею палива (пелет)

Котельня модульна твердопаливна з двома котлами MARTEN Industrial призначена для теплопостачання виробничих, громадських і адміністративних будівель, а також об'єктів, які будуються (різних за призначенням), як постійне або тимчасове джерело теплопостачання.

Котельня має вигляд будівлі контейнерного типу з вмонтованим в неї котельним устаткуванням – двома котлами MARTEN Industrial, а також допоміжним устаткуванням, яке забезпечує автономну роботу котельні. Будівля котельні складається з двох транспортабельних блоків (контейнерів). Габарити кожного контейнера дозволяють здійснювати його перевезення автомобільним транспортом на загальних підставах. До котельні можливо приєднувати модуль побутових приміщень. В базову комплектацію модуль побутових приміщень не входить, постачається як додаткова опція.

Цей проект розроблений з урахуванням наступних нормативних документів:

- ДСТУ-Н Б В. 1.1-27:2010 "Будівельна кліматологія"
- ДБН В.2.5-77:2014 "Котельні";
- ДБН В. 2.5-67:2013 "Опалювання, вентиляція і кондиціонування";
- ДБН В.2.5-64:2012 "Внутрішній водопровід і каналізація будівель";
- ДБН В. 2.5-39:2008 "Теплові мережі";
- ДБН В. 2.6.-31:2006 "Теплова ізоляція будівель" зі зміною №1;
- ДБН В 1.1-7-2002 "Пожежна безпека об'єктів будівництва";

Зам. інв. №							Арк.
Підпис і дата							Арк.
Інв. № ор.							10
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	Кваліфікаційна робота магістра

- ДБН В. 2.5-13-98 "Пожежна автоматика будівель і споруд".
- ДНАОП 0.00-1.26-96 "Правила будови і безпечної експлуатації парових котлів з тиском пари не більше 0,07 МПа, водогрійних котлів і водопідігрівачів з температурою нагріву води не вище 1150С";
- ДБН В. 2.5-28-2006 "Природне і штучне освітлення";
- ДНАОП 0.00-1.32-01 "Правила будови електроустановок. Електроустаткування спеціальних установок";
- ДСН 3.3.6.037-99 "Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку і інфразвуку";
- ДСН 3.3.6.039-99 "Санітарні норми загальної і локальної вібрації";
- ДСН 3.3.6.042-99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих підприємств";
- СП №1042-73 "Санітарні правила організації технологічних процесів і гігієнічні вимоги до виробничого устаткування";
- ГОСТ 12.1.003-83 "Шум. Загальні вимоги безпеки".
- ГОСТ 12.1.005-88 "Загальні гігієнічні вимоги до повітря робочої зони".
- СНиП 2.04.14-88 - "Теплова ізоляція устаткування і трубопроводів";
- НПАОП 0.00-1.11-98 - Правила будови і безпечної експлуатації трубопроводів пари і гарячої води.

Зам. інв. №							Арк.
Підпис і дата							Арк.
Інв. № ор.							Кваліфікаційна робота магістра
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	11

2 ТЕПЛОМЕХАНІЧНА ЧАСТИНА КОТЕЛЬНОЇ

Даний розділ проекту модульної контейнерної котельні виконаний на підставі завдання на проектування, а також відповідно до чинних нормативних документів:

- ДБН В.2.5-77-2014 "Котельні";
- ДБН В.2.5-39:2008 «Теплові мережі»;
- ДНАОП 0.00-1.26-96 «Правила будови і безпечної експлуатації парових котлів, з тиском пари не більше 0,07 МПа (0,7 кгс/см²), водогрійних котлів і водопідігрівачів з температурою нагріву води не вище 115°С»;

Категорія споживача за надійністю відпуску тепла - II.

2.1. Теплова схема котельні

У котельні передбачено встановлення двох твердопаливних котлів MARTEN Industrial тепловою потужністю 600 кВт (2 котли по 300 кВт кожен) з автоматичною подачею палива.

Паливо – пелета.

Технічна характеристика котла MARTEN Industrial

Найменування	Одиниця виміру	Значення характеристик
		MARTEN MIT-300
Максимальна номінальна теплопродуктивність	кВт	300
ККД	%	86%
Допустимий робочий тиск	МПа	0,25

Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № ор.					Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
			Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.		Підп.

Допустима температура падаючої лінії	°C	90
Об'єм води в котлі	л	900
Робоча вага	кг	2250

Теплоносій - вода з параметрами - 90-70°C.

Система тепlopостачання - закрыта зі штучною циркуляцією. В якості мережевих насосів для системи тепlopостачання прийнятий здвоєний натрубний насос фірми IMP Pumps (Словенія), модель CLD 65-240/2D (1 - робочий, 1 - резервний).

В якості циркуляційного насоса для кожного контуру нагріву котла прийнятий натрубний насос марки IMP Pumps (Словенія), модель GHN basic 50-120F (резервний насос зберігати на складі).

Статичний тиск в системі опалювання підтримується за допомогою розширювального баку місткістю 500 літрів ERCE 500, фірми ELBI, Італія.

Підживлення, первинне і аварійне заповнення системи передбачені пом'якшеною водою підживлювальним насосом типу KF1 (1-робочий, 1-резервний) з проєктованого баку запасу води місткістю 0,5 м³. Пом'якшення води, циркулюючої в системі тепlopостачання, передбачено системою зм'якшування води ECOSOFT FK 1054 CE, США.

Для обліку витрат тепла для системи опалення проєктом передбачене встановлення теплолічильника "POWOGAS" LQM- III, фірма "APATOR".

У верхніх точках трубопроводів для випуску повітря і в нижніх - для зливу води передбачені спускні пристрої. Для обслуговування арматури та обладнання на висоті більше 1,5м передбачена драбина з площадкою.

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ор.

						Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
							13
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата		

Трубопроводи прийняті із сталевих електрозварювальних труб по ГОСТ 10704-91 і водогазопровідних труб по ГОСТ 3262-75.

Всі трубопроводи в котельні теплоізолювані трубної ізоляцією "IZOFLEX" товщиною не менше 13 мм.

Видалення димових газів передбачено системою газоходів і проєктованими димовими трубами для кожного котла. Проєктом передбачені ізолювані димові труби виробництва фірми "Вент-Устрій", Україна. Димова труба за межами модулю, не входить в комплект постачання і замовляється окремо проєктом прив'язки модульної котельні.

Монтаж мереж вести згідно ДСТУ-Н Б В.2.5-73: 2 013 "Настанова з монтажу внутрішніх санітарно-технічних систем". Після монтажу та гідравлічного випробування трубопроводи та обладнання забарвити масляною фарбою за два рази (з середовищем до 40°C), або покрити антикорозійним складом і теплоізолювати (з середовищем вище 40°C).

Вживане обладнання сертифіковане і має технічні паспорти, укладення сангігієнічної та пожежної експертиз.

При виробництві монтажних робіт необхідно дотримуватися всіх заходів з охорони праці та техніки безпеки відповідно до вимог ДБН А.3.2-2-2009 "Охорона праці і промислова безпека в будівництві".

Робота котельні передбачена з постійною присутністю обслуговуючого персоналу.

Необхідність встановлення димососа та циклонів визначається проєктом прив'язки модульної котельні та розділом ОВНС.

Котельня комплектується пелетними пальниками OXI Ceramik F+300, для котлів MARTEN Industrial тепловою потужністю 300 кВт, відповідно з проміжним бункером і шнеком транспортування пелет до пальників.

Зам. інв. №							Арк.
Підпис і дата							Арк.
Інв. № ор.							Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

Кваліфікаційна робота магістра

Арк.

14

2.2. Підбір основного обладнання

2.2.1. Підбір циркуляційних насосів

Насоси підбираються за графічною характеристикою, яка відображає залежність напору насоса, від його подачі води. Робочу точку системи наносять на графічну характеристику насоса, яка знаходиться на перетині розрахункових витрат і напору. Робоча точка системи повинна знаходитися на кривій насосної характеристики або трохи вище неї та якомога ближче до точки насосної характеристики з максимальним ККД. Якщо кілька насосів відповідають заданим характеристикам, слід віддати перевагу насосу меншої потужності. Якщо подача буде змінюватися у широкому діапазоні, слід обрати насос з пологою робочою характеристикою.

Вибираючи циркуляційний насос для системи опалення або гарячого водопостачання, слід враховувати можливу гідравлічну розбалансованість, головний прояв якої полягає в не задовільній циркуляції води через віддалені циркуляційні кільця. Вибравши насос з запасом по витраті та напору, можна компенсувати незначну гідравлічну розбалансованість, тому при підборі циркуляційного насоса для системи опалення рекомендується обирати насос з 10-20% запасом по напору та 20-30% запасом по подачі. При цьому слід враховувати, що при збільшенні подачі у 1,3 раза втрати напору в системі зростуть в $1,3 * 1,3 = 1,7$ раза.

Для систем опалення з радіаторними термостатичними клапанами допускається незначний дефіцит подачі насоса, обґрунтований збільшенням площі поверхні опалювальних приладів на 10% та нелінійністю зменшення теплообміну опалювального приладу зі зміною подачі.

Циркуляційні насоси з електронними регуляторами частоти обертання робочого колеса дозволяють значно скоротити витрати на електроенергію в системах з динамічним гідравлічним режимом.

Зам. інв. №							Арк.
Підпис і дата							Арк.
Інв. № ор.							Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

Шумові характеристики насоса часто стають вирішальним фактором при виборі циркуляційних насосів, що встановлюються в інженерних системах житлових будинків. Для встановлення у приміщеннях з постійним перебуванням людей або прилеглих до них приміщеннях, рекомендується обирати насоси з мокрим ротором, оскільки вони відрізняються найбільш тихою роботою.

Витрата води, яка циркулює в системі опалення, пропорційна тепловому навантаженню і зворотно пропорційна температурному режиму.

Витрата води, яка циркулює в системі гарячого водопостачання, пропорційний тепловим втратам у трубопроводах системи гарячого водопостачання і зворотно пропорційна різниці температур води, що надходить в систему ГВП і повертається з неї.

Втрати напору в системах опалення і гарячого водопостачання визначаються гідравлічним розрахунком і повинні бути зазначені в проектах на влаштування цих систем (зазвичай вони складуть від 2 до 7м).

При визначенні напору насоса не слід знехтувати природним циркуляційним тиском системи, який виникає через різницю густин гарячої води на вході в систему та холодної на виході з неї. Величина природного тиску має позитивний знак, якщо центр нагріву води - нижче центру охолодження і від'ємний, якщо центр нагріву вище центру охолодження.

В різні періоди опалювального сезону величина природного тиску різна і відповідно - різний його вплив. Позбутися впливу природного тиску можна, встановивши автоматичні регулятори перепаду тиску або регулятори витрати. Чим більше частка природного тиску в циркуляційному напорі - тим більший його вплив.

Кавітація в насосі виникає, коли тиск води знижується до тиску

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ор.

						Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
							16
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата		

насичення. Кавітація, по суті, є різким утворенням бульбашок пари та так само різким їх згортанням, що призводить до гідроударів на робочому колесі насоса. Кавітація в насосі супроводжується не лише підвищеним шумом, а й прискорює процес його зносу.

Уникнути кавітації в насосі можна забезпечивши тиск у вхідному патрубку, який перевищує тиск насичення. Слід враховувати, що тиск насичення залежить від температури води, чим вона холодніша - тим нижчий тиск насичення.

Деякі виробники вказують кавітаційну характеристику насоса - NPHS - чисельно рівну мінімальному абсолютному тиску у вхідному патрубку насоса, при якому гарантується безкавітаційна робота.

Підбір в додатку 1.

2.2.2. Підбір розширювальних баків

Розрахунок розширювального бака виконують для визначення його об'єму, мінімального діаметра приєднувального трубопроводу, початкового тиску газового простору і початкового експлуатаційного тиску в системі опалення.

Методика розрахунку розширювальних баків складна і рутинна, але в цілому можна встановити таку залежність між об'ємом бака і параметрами, що впливають на нього:

- Чим більша ємність системи опалення, тим більший об'єм розширювального бака.
- Чим більше максимальна температура води у системі опалення, тим більше об'єм бака.

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ор.

						Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
							17
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата		

- Чим вище максимально допустимий тиск у системі опалення, тим менший об'єм бака.
- Чим менше висота від місця встановлення розширювального бака до верхньої точки системи опалення, тим менший об'єм бака.

Так як, розширювальні баки в системі опалення необхідні не тільки для компенсації об'єму води, що змінюється, але і для поповнення незначних витоків теплоносія — у розширювальному баку передбачають деякий запас води, так званий експлуатаційний об'єм. У наведеному вище алгоритмі розрахунку закладено експлуатаційний об'єм води в розмірі 3% від ємності системи опалення.

Підбір розширювального бака слід виконувати з урахуванням його температурних характеристик і міцності. Тиск та температура у місці підключення бака не повинні перевищувати максимально допустимих значень.

Об'єм розширювального бака повинен бути більшим або дорівнювати об'єму, отриманому в результаті розрахунку. Негативних наслідків від завищення об'єму, понад розрахунковий – немає.

Якщо встановлення розширювальних баків передбачається у приміщенні, слід врахувати що баки діаметром більше 750 мм і висотою більше 1,5м можуть не пройти у двері, а для їх переміщення знадобляться засоби механізації. У такому разі краще віддати перевагу не одному, а кільком мембранним бакам меншої ємності.

Підбір в додатку 2.

2.2.3. Підбір триходового клапана

Зам. інв. №							Арк.
Підпис і дата							Арк.
Інв. № ор.							18
	Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата	Кваліфікаційна робота магістра

Розрахунок трьохходового клапана виконують у наступній послідовності:

- 1. Підбір оптимальної регулюючої характеристики.
- 2. Визначення регулюючої здатності (авторитету клапана).
- 3. Визначення пропускної здатності та номінального діаметра.
- 4. Підбір електроприводу регулюючого клапана.
- 5. Перевірка на виникнення шуму та кавітації.

Вибір регулюючої характеристики. Залежність потоку води через клапан від ходу штока називають регулюючою характеристикою. Тип регулюючої характеристики визначає форму затвора та сідла клапана. Оскільки у трьохходового клапана два затвори та два сідла - регулюючих характеристик у нього теж дві, першою позначають характеристикою по прямому ходу - (А-АВ), а другу по перпендикулярному - (В-АВ).

Лінійна/лінійно. Сумарний протік води через патрубок АВ постійний лише при авторитеті клапана, що дорівнює 1, а це забезпечити практично неможливо. Робота триходового клапана з авторитетом, рівним 0,1, призведе до коливань сумарного потоку при переміщенні штока, в діапазоні від 100% до 180%. Тому клапани з лінійною / лінійною характеристикою застосовуються в системах, що нечутливі до коливань потоку води, або в системах з авторитетом клапана не менше 0,8.

Логарифмічно/логарифмічна. Мінімальні коливання сумарного потоку води через патрубок АВ в триходових клапанах з логарифмічно/логарифмічною регулюючою характеристикою спостерігаються при авторитеті клапана, рівному 0,2. При цьому зниження

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №							Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
										19
			Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата		

авторитету, порівняно з вказаним значенням, збільшує, а підвищення - зменшує сумарний протік через патрубок АВ. Коливання протоку в діапазоні авторитетів від 0,1 до 1 становлять від +15% до -55%.

Логарифмічно/лінійна. Трьохходові клапани з логарифмічно/лінійною характеристикою застосовуються, якщо в циркуляційних кільцях, які проходять через патрубки А-АВ та В-АВ, потрібно регулювання за різними законами. Стабілізація протоку під час руху клапана відбувається при авторитеті, рівному 0,4. Коливання загального протоку через патрубок АВ в діапазоні авторитетів від 0,1 до 1 становлять від +50% до -30%. Регулюючі клапани з логарифмічно/лінійною характеристикою отримали широке застосування в вузлах керування системами опалення та теплообмінними апаратами.

Авторитет трьохходового клапану дорівнює відношенню втрат тиску на клапані до суми втрат тиску на клапані та регульованій ділянці. Значення авторитету для трьохходових клапанів визначає діапазон коливання загального протоку через порт АВ.

10% відхилення протоку води через порт АВ під час руху штока забезпечується при наступних значеннях авторитету:

- $A+ = (0,8-1,0)$ - для клапана з лінійно/лінійною характеристикою.
- $A+ = (0,3-0,5)$ - для клапана з логарифмічно/лінійною характеристикою.
- $A+ = (0,1-0,2)$ - для клапана з логарифмічно/логарифмічною характеристикою.

Для трьохходових клапанів авторитет визначається для кожного з двох циркуляційних кілець, що проходять через порти А-АВ та В-АВ.

Визначивши оптимальний діапазон авторитетів та регулюючої

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ор.

						Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
							20
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата		

характеристики, визначають допустимий діапазон втрат тиску на трьохходовому клапані та переходять до визначення його пропускної здатності.

Розрахунок пропускної здатності. Залежність втрат тиску на клапані від протоку води через нього, характеризується коефіцієнтом пропускної здатності Kvs . Значення Kvs дорівнює протоку води у $m^3/год$, через повністю відкритий клапан, при якому втрати тиску на клапані складуть 1 бар. Зазвичай значення Kvs трьохходового клапана однакові для ходів А-АВ та В-АВ, але бувають клапани з різними значеннями пропускної здатності для кожного з ходів.

Знаючи, що при зміні протоку води в «n» раз втрати тиску на клапані змінюються в «n²» раз, нескладно визначити потрібний Kvs регулюючого клапана, підставивши в рівняння розрахунковий протік та втрати тиску. З номенклатури підбирають трьохходовий клапан з найближчим значенням коефіцієнта пропускної здатності до значення, отриманого в результаті розрахунку.

Підбір електроприводу. Електропривод підбирається під раніше обраний трьохходовий клапан. Рекомендується вибирати електричні приводи зі списку сумісних пристроїв, вказаних у характеристиках клапана, при цьому слід звернути увагу на:

- Вузли з'єднання приводу і клапана повинні бути сумісні.
- Хід штока електроприводу повинен бути не менше ходу штока клапана.
- Залежно від інерційності регульованої системи слід застосовувати приводи з різною швидкістю дії.
- Від зусилля закриття приводу залежить максимальний перепад тиску на клапані, при якому привід зможе його закрити.

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ор.

						Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
							21
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата		

- Один і той же електропривід забезпечує перекриття трьохходового клапана, який працює на змішування і розділення потоку, при різних перепадах тиску.
- Напруга живлення та керуючий сигнал приводу повинні відповідати напрузі живлення та керуючому сигналу контролера.
- Поворотні трьохходові клапани застосовуються з ротаційними, а сідлові з лінійними електроприводами.

Розрахунок можливості виникнення кавітації. Кавітація - утворення бульбашок пару в потоці води, яке проявляється при зниженні тиску в ньому нижче тиску насичення водяної пари. Ефект збільшення швидкості потоку та зниження тиску в ньому, що виникає при звуженні прохідного перерізу, описується рівнянням Бернуллі. Прохідний переріз між засувкою та сідлом трьохходового клапана є таким звуженням, тиск в якому може опуститися до тиску насичення, і є місцем найбільш ймовірного утворення кавітації. Бульбашки пару нестабільні, вони різко з'являються і так само різко згортаються, що призводить до вибивання часток металу з елементів клапана, що неодмінно стане причиною його передчасного зносу. Крім зносу кавітація призводить до підвищення шуму при роботі клапана.

Основні фактори, що впливають на виникнення кавітації:

- Температура води - чим вона вище, тим більша ймовірність виникнення кавітації.
- Тиск води - перед регулюючим клапаном, чим він вище, тим менша ймовірність виникнення кавітації.
- Допустимі втрати тиску - чим вони вищі, тим вище ймовірність виникнення кавітації.

Зам. інв. №							Арк.
Підпис і дата							Арк.
Інв. № ор.							22
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата	Кваліфікаційна робота магістра	

- Кавітаційна характеристика трьохходового клапана визначається особливостями дрослюючого елемента клапана. Коефіцієнт кавітації різний для різних типів регулюючих клапанів і повинен бути вказаний в їх технічних характеристиках, але оскільки більшість виробників не вказують це значення, у алгоритм розрахунку вбудовано діапазон найбільш ймовірних коефіцієнтів кавітації.

В результаті перевірки на кавітацію може бути отримано наступний результат:

- 'Немає' - кавітації точно не буде.
- 'Можлива' - на клапанах деяких конструкцій виникнення кавітації можливе, рекомендується змінити один з вищезгаданих факторів впливу.
- 'Є' - кавітація точно буде, змініть один з факторів, що впливають на виникнення кавітації.

Розрахунок на виникнення шуму. Висока швидкість потоку у вхідному патрубку трьохходового клапана може стати причиною високого рівня шуму. Для більшості приміщень, в яких встановлюються регулюючі клапани, допустимий рівень шуму становить 35-40 дБ (А), що відповідає швидкості у вхідному патрубку клапана приблизно 3 м/с. Тому при підборі триходового клапана не рекомендується перевищувати вищезгадану швидкість.

Підбір в додатку 3.

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №							Арк.	
			Кваліфікаційна робота магістра							23
			Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

3. ОПАЛЕННЯ І ВЕНТИЛЯЦІЯ

Даний розділ розроблено на основі завдання на проектування, даних будівельної та технологічної частини, а також наступних нормативних документів:

- ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»;
- ДБН В.2.5-77:2014 «Котельні»;
- ДБН В.1.1-7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва»;
- ДНАОП 0.00-1.26-96 «Правила будови і безпечної експлуатації парових котлів, з тиском пари не більше 0,07 МПа (0,7 кгс/см²), водогрійних котлів і водопідігрівачів з температурою нагріву води не вище 115°С».

3.1. Опалення

Джерело теплопостачання - котельня.

Теплоносієм для системи опалювання служить вода з параметрами 90-70°С.

Система опалення - двотрубна з верхньою розводкою.

В якості нагрівальних приладів модуля і побутових приміщень прийнятий радіатор сталевий панельний ДК-22 РККР, Туреччина.

Трубопроводи системи опалення виконані з сталевих водогазопровідних труб ГОСТ 3262-75*.

Після закінчення монтажних робіт трубопроводи забарвити масляною фарбою за два рази та теплоізолювати.

3.2. Вентиляція

Зам. інв. №							Арк.
Підпис і дата							Кваліфікаційна робота магістра
Інв. № ор.	Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата	Арк.

Вентиляція котельного залу припливно-витяжна з природнім спонуканням, що забезпечує 3-х кратний повітрообмін.

Видалення повітря здійснюється по двох оцинкованих повітропроводах Ду 200 мм. Повітропроводи вивести вище за покрівлю на 1000 мм.

Об'єм припливного повітря прийнятий з розрахунку трикратного повітрообміну і кількості повітря, необхідного для горіння.

Приплив повітря організований через жалюзійні ґрати $F_{ж.с.}=0,23256\text{м}^2$, розташовані в нижній частині дверей.

Вентиляція побутових приміщень - припливно-витяжна з природним спонуканням.

Витяжка повітря з приміщення сумісного санітарного вузла передбачена природна, з верхньої зони. Видалення повітря здійснюється по оцинкованому повітропроводу Ду 160 мм. Повітропровід вивести вище за покрівлю на 1000 мм. Для припливу повітря в приміщенні передбачається підріз дверей 3см.

У теплий період року в приміщеннях допускається природне надходження зовнішнього повітря через фрамуги вікон. Для вентиляції передбачено вікно з припливним елементом.

Монтаж системи опалювання виконувати відповідно до вимог ДБН В.2.5-67: 2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування", технічним керівництвом фірм-виробників матеріалів і устаткування і ДБН А.3.2-2-2009 "Охорона праці і промислова безпека у будівництві".

Усі матеріали і устаткування, застосовані в проекті, сертифіковані в Україні.

Після монтажу системи опалювання здійснити її гідравлічне випробування і регулювання.

Технічні рішення, прийняті у проекті, відповідають екологічним, санітарно-гігієнічним, протипожежним та іншим нормам і правилам, які забезпечують

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ор.

						Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
							25
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата		

безпечну експлуатації життя та здоров'я людей при дотриманні заходів, що передбачаються проектними рішеннями.

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №					Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
			Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.		Підп.

4. ПАЛИВОПОДАЧА

Система паливоподачі в котел - важлива складова обладнання для опалення, що сприяє ефективній функції подачі палива, видалення зольних продуктів горіння. Системи для подачі палива сучасних котелень механізовані або автоматизовані, проектуються індивідуально, враховуючи особливості плану котельні, розташування в ній обладнання. Система автоматичного золовидалення – пристрій, що служить для збирання шлаку, який залишається в топці котла після згоряння палива.

Котельні, що працюють на твердому паливі, обладнаються котлами з механізованим паливоподачею. Випускаючи твердопаливні котли, заводи теплотехнічного обладнання виробляють системи подачі твердого палива, транспортери видалення золи, шлаку, вентилятори, золоуловлювачі, транспортери з котловим і приймальним бункером, ін.

Процес механізованої паливоподачі бере початок від приймального складу з використанням механізмів для навантаження розвантаження: грейфери, різнотипні транспортери, скіпові установки. Для подачі палива в котел застосовують транспортери з стрічкою, що рухається - шнекові, стрічкові, гвинтові, скребкові, які можуть виконувати переміщення прямо, під кутом, горизонтально, розуміти вгору. Шнековий транспортер доставляє паливо в бункер завантаження, а потім воно надходить в топку способами, передбаченими особливостями конструкції топок котлів.

Котли виробляють тепло, нагрівають воду для технічних потреб, з метою забезпечення надійної роботи обладнання, контролю температури використовується автоматика. Для мінімальної присутності людини в процесі опалення використовують механізм подачі палива в котел, який складається з елементів: насоса, шнека, головки для згоряння, з соплами дутьового повітря, що в ній розміщені. У комплект механізму подачі різного твердого палива входить дутьовий вентилятор, система пожежогасіння, автоматика. Механізм дозволить

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ор.

						Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
							27
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата		

підвищити ККД, посилити інтенсивність згоряння палива, знизити рівень зольних залишків, покращити тепловіддачу.

Автоматична подача палива в котел - сучасне рішення пристрою опалювальної системи, що широко застосовується в твердопаливних котельнях для переміщення палива зі складських приміщень тривалого зберігання в робочий бункер котла, топок. Управління системою опалення за допомогою комп'ютера, вентиляційної турбіни дозволить звільнити оператора від здійснення багатьох операцій, знизить можливість помилок, збоїв у роботі обладнання, підвищить продуктивність тепловіддачі, оптимізує кількість палива, що спалюється.

Механізм автоматичної подачі палива розрахований використання різних видів твердого палива. Тривалий термін експлуатації, надійність системи забезпечить виготовлення її із спеціального кислотостійкого, жароміцного металу. Система автоматичної подачі палива з використанням дутьового повітря гарантує повне згоряння твердого палива, зниження утворення золи.

Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № ор.							Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
										28
			Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

5. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ГОРІННЯ В ТОПЦІ КОТЛА

5.1. Методи математичного моделювання процесів спалювання пелет

Спалювання біомаси вимагає спеціальної конструкції котлів. Основні вимоги до котлів і котелень на біопаливі стосуються теплової потужності котла; необхідності комплектації котельні надійним обладнанням для накопичення і подачі біомаси різної вологості, системою пожежогасіння і підготовки палива до спалювання; забезпеченості високоефективними системами очищення газових викидів із котлів від золи і дисперсних частинок до концентрацій, обумовлених проектом оцінки впливу на навколишнє середовище; можливості періодичного (бажано автоматизованого) очищення поверхонь нагрівання котлів від золи; забезпечення повноти згорання палива; забезпечення комплексу заходів із пожежної безпеки в котельні і складі біопалива тощо.

Процес спалювання біомаси – один з найстаріших методів отримання теплової енергії. Однак існує ряд проблем при його практичному використанні, головною з них є досягнення глибокого вигорання палива. До технічних пристроїв, які використовуються для прямого спалювання біомаси, відносяться печі, топки та камери згорання. Біомаса може використовуватися шляхом прямого спалювання в енергетичних установках у факелі, киплячому або ущільненому шарі з подальшим отриманням теплової і електричної енергії.

Основним недоліком дрібномасштабної технології спалювання біомаси є викиди твердих частинок, коли агропелети використовуються як паливо. У дослідженні [1] проаналізували газоподібні викиди та викиди твердих частинок, що утворюються при спалюванні чистої відпрацьованої кавової гущі та змішаної з сосною тирсою (50/50 % маси) в комерційному побутовому котлі на пелетах. Стосовно викидів твердих частинок зроблено висновок, що 105 викиди у 3,5 рази вищі порівняно з сумішшю та в 10,3 рази порівняно з гранулами чистої соснової тирси. У роботі [2] отримані рівні викидів твердих частинок надзвичайно високі і коливаються від 966 до 2719 мг/м³ при 10% O₂

Зам. інв. №							Арк.
Підпис і дата							Арк.
Інв. № ор.							Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата		

Кваліфікаційна робота магістра

Арк.

29

в сухих димових газах. Для порівняння, типові викиди твердих частинок при спалюванні сертифікованих та несертифікованих деревних пелет коливаються від 21,9 до 110 мг/м³ при 10% O₂ в сухих димових газах [2]. Крім більших викидів забруднюючих речовин, агропелети з високим вмістом золи та низькою температурою плавлення є ще однією проблемою. Так, в роботі [3] показано, що гранули з пшеничної соломи через високий вміст золи та низьку температуру плавлення золи непридатні для побутового застосування. Цей висновок узгоджується з дослідями авторів щодо використання гранул, які складаються з чистої пшеничної соломи [4]. Більш детальну інформацію про загальні проблеми, пов'язані з попелом, можна знайти також у роботі авторів [5]. Усі дослідження показують, що для спалювання чистої недеревної біомаси в побутових котлах з гарячою водою з низьким рівнем викидів, висока ефективність згоряння та висока надійність в експлуатації, необхідні модифікації традиційної системи спалювання біомаси. Розроблення нової/вдосконаленої системи горіння може бути прискорена за допомогою чисельних методів. Чисельні методи зазвичай використовуються для дослідження різних шляхів і заходів щодо зменшення викидів забруднюючих речовин від систем спалювання біомаси, особливо у великих або промислових котлах [6]. Чисельне моделювання часто є цінним при аналізі теплопередачі та розподілу температури димових газів, як показано в [7]. Важливо зазначити, що не завжди чисельні результати досліджень надійні, щоб гарантувати виконання відповідних стандартів ЄС та директив в процесі експлуатації [8, 9]. Тому для забезпечення достовірності результатів чисельні дослідження поєднуються з експериментальними вимірюваннями. Чисельна частина цього дослідження стосується моделювання процесу спалювання біомаси, а вхідні дані для моделювання отримують з експериментальних вимірювань.

5.2. Модель тепломасоперенесення в пальнику при горінні рослинних пелет

Кваліфікаційна робота магістра

Арк.

30

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ор.

Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата

Як приклад, розглядаються результати розрахунку температурного режиму пальника, призначеного для спалювання пелет рослинного походження. Пальник має форму прямокутного паралелепіпеда висотою H і довжиною L . В середині пальника на певній відстані S від його основи розташована металева сітка з електропідігрівом. На цій сітці розташовуються пелети, що укладені в декілька шарів. В нижній частині лівої бокової стінки пальника зроблено отвір для входу зовнішнього повітря в пальник. У верхній частині правої стінки розташовується отвір для виводу газоподібних продуктів горіння. Через цей отвір нагріті димові гази разом з повітрям відводяться до теплообмінного пристрою, де утилізується одержана від згорання пелет теплота.

Рух повітря в пальнику здійснюється за рахунок природної тяги, тобто, внаслідок природної конвекції нагрітого повітря. Цей рух описується системою рівнянь динаміки турбулентної течії, до якої входять:

- рівняння нерозривності:

$$\frac{\partial \rho_g}{\partial \tau} + \frac{\partial \rho_g u}{\partial x} + \frac{\partial \rho_g v}{\partial y} + \frac{\partial \rho_g w}{\partial z} = 0$$

- рівняння турбулентного перенесення імпульсу

$$\rho_g \left(\frac{\partial u}{\partial \tau} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left[(\mu + \mu_t) \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right];$$

$$\rho_g \left(\frac{\partial v}{\partial \tau} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left[(\mu + \mu_t) \frac{\partial v}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] - \rho_g g;$$

Зам. інв. №							Арк.
Підпис і дата							Арк.
Інв. № ор.							31
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата	Кваліфікаційна робота магістра	

$$\rho_g \left(\frac{\partial w}{\partial \tau} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial y} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left[(\mu + \mu_t) \frac{\partial w}{\partial z} \right]$$

де x, y, z – прямокутні координати, м; u, v, w – проекції вектора швидкості на осі OX, OY та OZ прямокутної системи координат, м/с; p – тиск, Па; ρ – густина газового середовища, кг/м³; μ, μ_t – молекулярний і турбулентний динамічні коефіцієнти в'язкості, Па·с, $g = 9,81$ м/с². Для замикання системи рівнянь динаміки застосовується k - ϵ модель турбулентності, яка включає в себе рівняння перенесення кінетичної енергії турбулентності k

$$\rho \left(\frac{\partial k}{\partial \tau} + u \frac{\partial k}{\partial x} + v \frac{\partial k}{\partial y} + w \frac{\partial k}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right] +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial z} \right] + \mu_t S^2 - \rho \epsilon;$$

та рівняння дисипації кінетичної енергії турбулентності ϵ .

$$\rho_g \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial \tau} + u \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + v \frac{\partial \epsilon}{\partial y} + w \frac{\partial \epsilon}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \right] +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial z} \right] + C_1 \frac{\epsilon}{k} \mu_t S^2 - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k},$$

де

$$S = \left[\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right]^{0,5}$$

$k, \text{ м}^2/\text{с}^2$ – енергія турбулентності; $\epsilon, \text{ м}^2/\text{с}^3$ – дисипація енергії турбулентності; $C_1=1,44, C_2=1,92, \sigma_k=1, \sigma_\epsilon=1,3$ – константи k - ϵ моделі турбулентності. Коефіцієнт турбулентної в'язкості розраховується за виразом:

Зам. інв. №							Арк.
Підпис і дата							Арк.
Інв. № ор.							Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата	Кваліфікаційна робота магістра	
						32	

$$\mu_i = \rho C_{\mu} \frac{k^2}{\varepsilon}; C_{\mu} = 0,09.$$

Газове середовище в даному випадку це суміш, що складається з різних газів. Тому його густина розраховується за виразом:

$$\rho = \sum_{i=1}^{i=k} \rho_i = \frac{p}{R_0 T \sum_{i=1}^{i=k} \left(\frac{Y_i}{M_i} \right)}$$

де T , К – температура, К; $R_0 = 8314$ Дж/(кмоль·К) – універсальна газова стала; ρ_i , кг/м³ – парціальна густина окремого компонента (з номером i) газової суміші; Y_i – відносна вагова концентрація окремого компонента (з номером i) газової суміші, що визначається як $\sum =$; k – кількість компонентів газової суміші; M_i , кг/кмоль – молекулярна маса компонента газової суміші. Температура газової суміші в процесі горіння летючих газів має вигляд:

$$\begin{aligned} \rho_g C_g \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) &= \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\lambda_g + \frac{C_p \mu_t}{\sigma_T} \right) \frac{\partial T}{\partial x} \right] \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\lambda_g + \frac{C_p \mu_t}{\sigma_T} \right) \frac{\partial T}{\partial y} \right] &+ \frac{\partial}{\partial z} \left[\left(\lambda_g + \frac{C_p \mu_t}{\sigma_T} \right) \frac{\partial T}{\partial z} \right] + Q \end{aligned}$$

де C_p – теплоємність газової суміші, що визначається з виразу:

$$C_p = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} C_{p,i} \rho_i}{\sum_{i=1}^{i=k} \rho_i}$$

при цьому

$$C_p \rho = \sum_{i=1}^{i=k} C_{p,i} \rho_i$$

σ_T – турбулентне число Прандтля; $\sum n Q S_j \Delta h_j$ – сумарна теплота, що виділяється в газовому середовищі внаслідок протікання n хімічних реакцій; S

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ор.

						Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
							33
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата		

j , кг/(м³ с); – швидкість протікання j -ї реакції, тобто, кількість j -ї речовини, що утворюється (або зникає) за рахунок хімічної реакції в 1 м³ об'єму за 1с часу; Δh_j , Дж/кг – тепловий ефект j -ї реакції, тобто, кількість енергії, що виділяється при спалюванні 1 кг відповідної горючої сировини. Відносні вагові концентрації окремого компонента Y_i визначаються з розв'язання рівняння турбулентної дифузії для цього компонента. Ці рівняння мають вигляд:

$$\rho_g \left(\frac{\partial Y_i}{\partial \tau} + u \frac{\partial Y_i}{\partial x} + v \frac{\partial Y_i}{\partial y} + w \frac{\partial Y_i}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\rho_g D_i + \frac{\mu_t}{\sigma_D} \right) \frac{\partial Y_i}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\rho_g D_i + \frac{\mu_t}{\sigma_D} \right) \frac{\partial Y_i}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\left(\rho_g D_i + \frac{\mu_t}{\sigma_D} \right) \frac{\partial Y_i}{\partial z} \right] + S_i;$$

Для розв'язання задачі про горіння пелет з сільськогосподарських злакових культур вважається, що при їх термічному розкладанні виділяються: водяна пара (H₂O, $i=3$); двоокис вуглецю (CO₂, $i=4$), окис вуглецю (CO, $i=5$); метан (CH₄, $i=6$) та водень (H₂, $i=7$). В повітряному потоці, що надходить в пальник ззовні, присутні азот (N₂, $i=1$) та кисень (O₂, $i=2$). В дійсності цих компонентів може біти значно більше (наприклад, окисли азоту типу NO_x), але а першому наближенні для розв'язання поставленої задачі можна обмежитися сімома наведеними компонентами газової суміші. Цих рівнянь типу має бути на одиницю менше, ніж кількість компонентів газової суміші (тобто, $k - 1$ рівняння). Якщо б рівнянь було б k , то їх сума склала би рівняння нерозривності. Можна прийняти, що не розв'язується рівняння для азоту $i=1$. Його відносна концентрація знаходиться з виразу. Як вже згадувалося, при нагріванні органічного матеріалу, з якого складається біопаливо, починається процес його термічного розкладання з виділенням летючих газів. Для визначення швидкості утворення летючих газів при термічному розкладанні сировини з соломи злакових культур в [64] запропоновано вираз:

$$r_v = -\rho_{sb} \frac{dY_v}{d\tau} = \rho_{sb} Y_v A_v \exp\left(-\frac{E_v}{RT}\right)$$

Зам. інв. №							Арк.
	Підпис і дата						
Інв. № ор.							Арк.
	Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата	

де v_r , кг/(м³ с) – інтенсивність виходу летючих газів Y_v – масова частка летючих газоподібних речовин, що залишаються в соломі; ρ_{sb} , кг/м³ – густина біомаси, що залишається у вихідній сировині; T , К – температура твердої компоненти біомаси. Величини, що входять до виразу, згідно [11], дорівнюють: $A_v=3,63 \cdot 10^4$ 1/с; $E_v/R=9340$ К. Летючі гази видаляються через поверхню частинки біопалива і потрапляють в повітряний потік. Виходячи з лінійну швидкість виходу летючих газів з поверхні частинки можна оцінити за виразом:

$$w_v = \frac{r_v V_p}{\rho_v F_p} = -\rho_{sb} \frac{dY_v}{d\tau} \frac{V_p}{\rho_v F_p} = \frac{V_p \rho_{sb} Y_v A_v \exp\left(-\frac{E_v}{RT}\right)}{\rho_v F_p}$$

де V_p , м³ – об'єм пелети; F_p – площа поверхні пелети м²; r_v – інтенсивність виходу летючих газів, кг/(м³ с); ρ_v – густина летючих газів, кг/м³. Склад летючих газів, що виділяються з сухої біомаси злакових культур при їх термічному розкладанні, приймається наступним: $Y_3 = 0,18$ (H₂O); $Y_4 = 0,207$ (CO₂); $Y_5 = 0,272$ (CO); $Y_6 = 0,34$ (CH₄); $Y_7 = 0,001$ (H₂). Серед цих газів в реакції горіння приймають участь CO; CH₄ та H₂. Температурний стан окремої пелети, що знаходиться в шарі з пелетного палива на сітці, розраховується за спрощеною моделлю, запропонованою в [12]:

$$\frac{\partial(C_p \rho T)}{\partial \tau} = -\nabla \cdot (C_p \rho w_v T) - \nabla \cdot q + S_c \Delta h_c$$

В даному рівнянні ліва частина описує швидкість зміни у часі теплоти в одиниці об'єму речовини пелети. Перший член у правій частині – це швидкість зміни теплової енергії в одиниці об'єму через конвекцію, а другий член – це внесок теплоти в одиницю об'єму шляхом її перенесення теплопровідністю. Третій член в правій частині визначає кількість теплової енергії, що виділяється в одиниці об'єму внаслідок екзотермічної хімічної реакції.

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №							Арк. 35
			Кваліфікаційна робота магістра						
			Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата	

5.2. Моделювання горіння пелет у побутових котлах малої потужності в середовищі програмного комплексу ANSYS-Fluent

5.2.1. Методика CFD-моделювання

З метою дослідження процесів, що відбуваються під час спалювання біомаси в пелетному пальнику, побудована його CFD-модель, яку реалізовано засобами ANSYS-Fluent (рисунок 5.1).

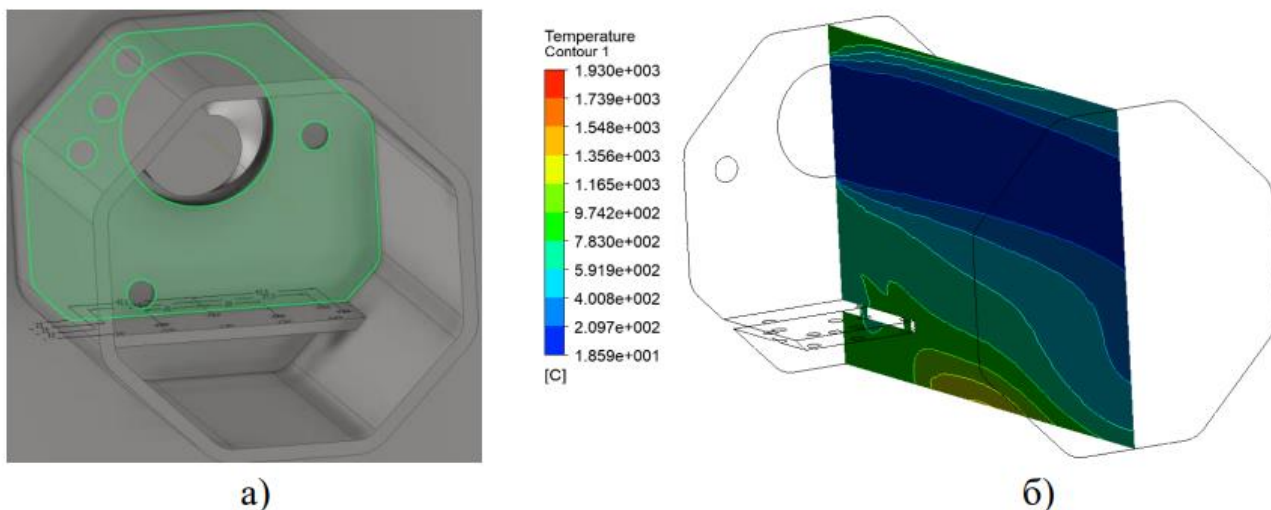


Рис. 5.1 Геометрична модель пальника (а) та орієнтовний розподіл температур в перерізі пальника (б)

Скінчено-елементна сітка моделі враховує розвиток примежового шару на всіх твердотільних поверхнях котельного агрегату. Область поза примежовим шаром моделювалась за допомогою нерівномірної тетраедричної сітки (рисунок 5.2) [13]. Після конвертації моделі в Fluent є можливість заощадити об'єм оперативної пам'яті комп'ютера при проведенні розрахунків шляхом об'єднання тетраедричних скінчених елементів в шестигранні. При цьому скошеність (Skewness) не перевищувала 0,8, а співвідношення сторін (AspectRatio) кінцевих елементів не перевищувало 40 (рисунок 5.3).

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. № ор.	

Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата

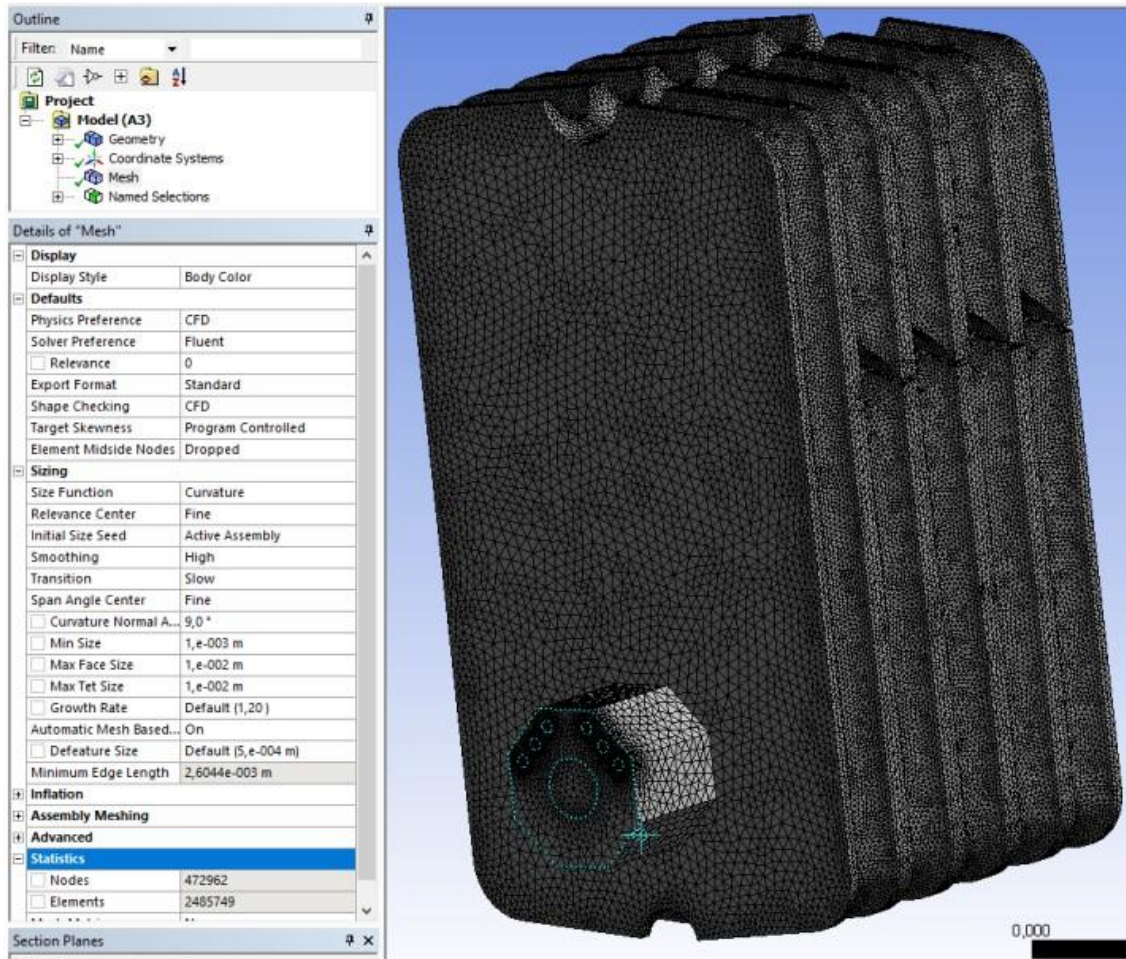


Рис. 5.2. Тетраедрична розрахункова сітка

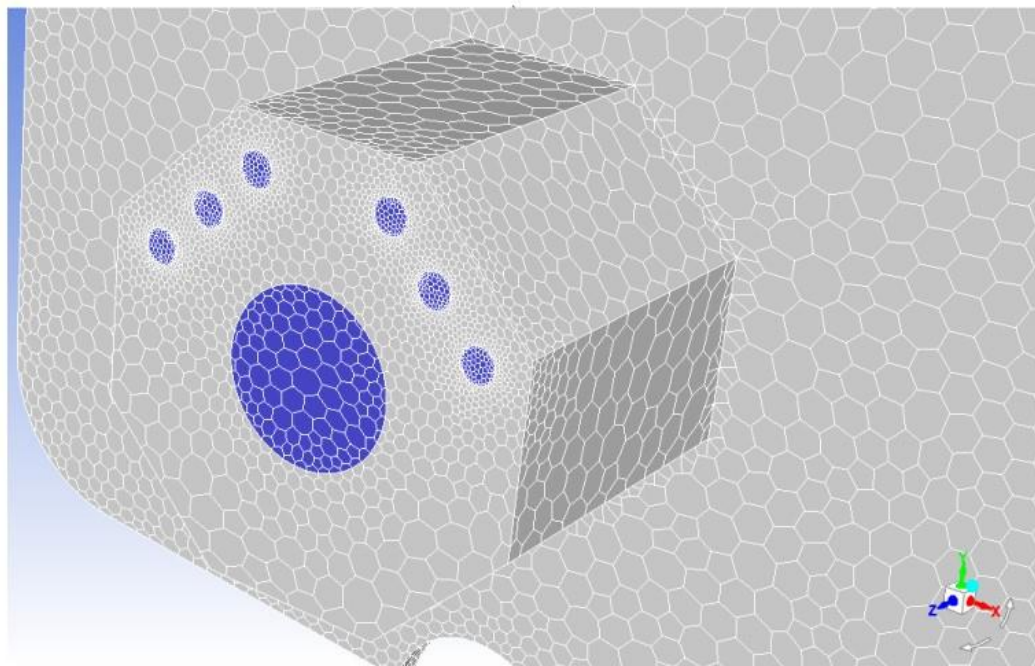


Рис.5.3. Розрахункова сітка типу «Polyhedra»

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ор.

Зм.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підп.	Дата

Моделювання спалювання твердого палива виконувалось за допомогою скінчено-елементних CFD-моделей котельного агрегату в середовищі програмного комплексу ANSYS-Fluent. Відомо, що явища переносу імпульсу і маси в хімічно реагуючих потоках описуються досить складною нелінійною системою рівнянь в часткових похідних. Ця система містить рівняння нерозривності, осереднені по Рейнольдсу рівняння збереження енергії, імпульсу і маси (Нав'є-Стокса), а також рівняння переносу і-го компонента суміші, які розв'язуються чисельними методами в середовищі Ansys-Fluent. Для моделювання складових тензора напруг Рейнольдса підхід Буссінеска, який є найбільш поширеним при числовому моделюванні. Для замикання осереднених по Рейнольдсу рівнянь Нав'є-Стокса використовувалась Realizable k-ε модель турбулентності, що відрізняється від стандартної k-ε моделі альтернативним формулюванням виразу для розрахунку турбулентної в'язкості:

$$\mu = \frac{\rho}{\left(A_0 + A_s \frac{U^* k}{\varepsilon}\right)} \frac{k^2}{\varepsilon},$$

де змінні A_0 , A_s та U^* є функцією градієнту швидкості.

Також Realizable k-ε модель турбулентності забезпечує позитивність нормальних напруг ($\overline{(u'_i)^2} \geq 0$) виконання нерівності Шварца:

$$\overline{(u'_i u'_j)} \leq \overline{(u'_i)^2} \cdot \overline{(u'_j)^2}$$

Транспортні рівняння для k та ε Realizable моделі турбулентності можна знайти в [14]. Використання в розробленій CFD-моделі обрано тому, що вона розроблена для потоків, що містять струмені (вприск нагрітого повітря крізь прошарок палива), примежові шари розвиваються під дією сильних несприятливих градієнтів тиску (омивання жаропротівних труб котельного агрегату), яке супроводжується відривом потоку, а також для урахування зон із сильною обтічною кривизною.

Для моделювання течії в примежовому шарі використані нерівноважні пристінні функції. Сильними сторонами яких є те, що вони призначені

Зам. інв. №							Арк.
Підпис і дата							Арк.
Інв. № ор.							Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата	Кваліфікаційна робота магістра	

враховувати чутливість логарифмічного закону, який постулює розподіл швидкості потоку в примежовому шарі, до градієнта тиску. Тим самим вони краще прогнозують виникнення від'ємного градієнту тиску і появу зворотних течій, ніж стандартні пристінні функції. Послаблені припущення локальної рівноваги для ТКЕ в чарункахсусідах:

$$\frac{\tilde{U} C_{\mu}^{1/4} k^{1/2}}{\tau_w / \rho} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(E \frac{\rho C_{\mu}^{1/4} k^{1/2} y}{\mu} \right),$$

де

$$\tilde{U} = U - \frac{1}{2} \frac{dp}{dx} \left[\frac{y_v}{\rho \kappa^* k^{1/2}} \ln \left(\frac{y}{y_v} \right) + \frac{y - y_v}{\rho \kappa^* k^{1/2}} + \frac{y_v^2}{\mu} \right],$$

де y_v – відстань від непроникної твердої стінки до верхньої межі в'язкого підшару (зазвичай становить $y^+ \approx 5$), а y_p – відстань від непроникної твердої стінки до верхньої межі турбулентного ядра. Температура в примежовому шарі розраховується наступним чином:

$$T^* = \frac{(T_w - T) \rho C_{\mu}^{1/4} k^{1/2}}{q''},$$

де C_{μ} згідно використаної Realizable k - ε моделі турбулентності:

$$C_{\mu} = \frac{1}{\left(A_0 + A_s \frac{U^* k}{\varepsilon} \right)}$$

Після завдання гідродинамічних характеристик потоку використана модель горіння без попереднього змішування (non-premixed combustion model). Відправною точкою для її використання є створення PDF таблиці (PDF 127 – probability distribution function – функція розподілу вірогідності). Цей файл містить інформацію про залежність вмісту компонентів і температур від фракційного складу суміші і використовується ANSYS-Fluent для набуття цих

Зам. інв. №							Арк.
Підпис і дата							Кваліфікаційна робота магістра
Інв. № ор.							39
	Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата	

значень в процесі рішення. При визначенні PDF-таблиці використовувались рівняння Equilibrium Chemistry (Рівноважна хімія), які мають значно більшу точність. За допомогою цієї моделі є можливість включити ефекти проміжних реакцій і реакцій дисоціації, створюючи більш реалістичні прогнози температури полум'я, ніж загальноприйнята модель Eddy-Dissipation*.

*Модель вихрової дисипації (Eddy-Dissipation Model, EDM) - це підхід у гідродинамічному моделюванні (CFD), особливо для турбулентного горіння, який спрощує кінетику реакції, припускаючи, що реакція відбувається дуже швидко, як тільки реагенти потрапляють в зони турбулентних вихорів, де вони перемішуються. Модель пов'язує швидкість реакції з інтенсивністю перемішування (швидкістю дисипації вихорів) і підходить для простих одно- або двостадійних реакцій, але не завжди для складних багатадійних механізмів.

5.2.2. Теплогідравлічні особливості течії в «водяній сорочці» CFD-моделі котла

Під час виконання роботи було проведено моделювання топкової камери автоматичного котла на твердому паливі Marten Industrial потужністю 300 кВт, що призначений насамперед для опалення односімейних будинків, дач, невеликих майстерень тощо [15]. В якості палива в котлі використовуються як деревні (так звані білі) пелети, так і пелети сільськогосподарського походження. Головною частиною котла є чавунний секційний котельний корпус, виготовлений із сірого чавуну згідно з EN 1561 сорт 150. Котельний корпус зібраний із секцій за допомогою впресованих котелень і зафіксований за допомогою кріпильних болтів. Секції утворюють камеру згоряння та зольник, водний простір та конвекційну частину. Вхід та вихід опалювальної води розташований у задній частині котла. Задня секція котла у верхній частині має горловину димоходу та фланець опалювальної води, у нижній частині – фланець

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №							Арк.	
			Кваліфікаційна робота магістра							40

живильної води з патрубком для впускного та випускного крана. До передньої секції прикріплені дверцята для чищення зольника зі встановленим факельним пальником. В котлі використовується встановлений на дверях зольника пальник для пелет. З правого (лівого) боку котла розміщено бункер для пелет із листової сталі об'ємом 1000 л. Бункер з'єднаний з пальником за допомогою живильника палива та сполучного шлангу.

Для моделювання геометрії топкової камери котла використовується графічний редактор SolidWorks 2020. Модель містить чотири однакових секції (рисунок 5.4, а)), які складаються з опускних труб і водяного економайзера, і однієї секції, що містить тільки опускні труби (рисунок 5.4, б)). Така конструкція дозволяє відібрати більше теплоти від димових газів, що відходять. На рисунку 5.4, в) показано фото топкової камери діючого пелетного котла Marten Industrial.

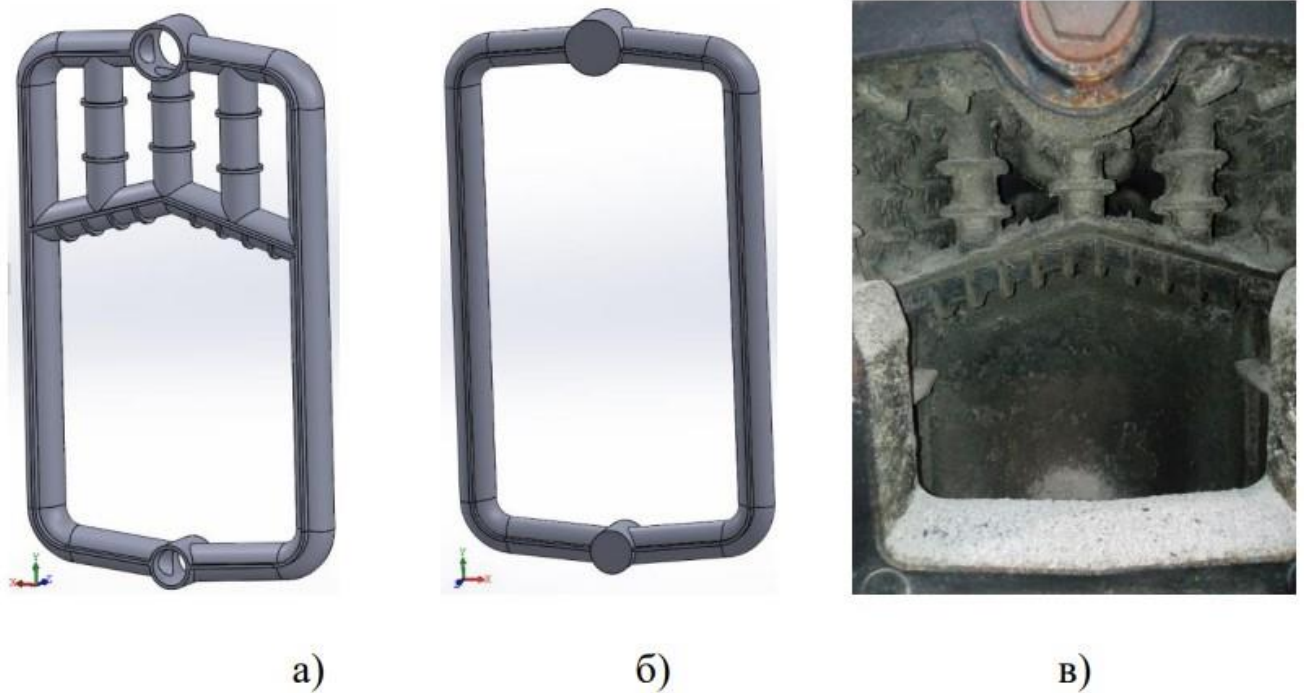


Рис.5.4. Модель глибинної і першої секцій (а та б) та фото топкової камери котла (в)

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ор.

Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата

З таких секцій зроблена тривимірна збірка і «заповнено» міжтрубний простір матеріалом для топкової камери. Тобто геометрія топкової камери, течія, в якій визначається засобами ANSYS-Fluent, отримана шляхом використання процедури логічного віднімання – від початкового об’єму, наприклад паралелепіпеда, віднімається об’єм всіх секцій, що зібрані у збірку (рисунок 5.4, 5.5). На фронтальній стінці (рисунок 5.5 б)) показано модель факельного пальника восьмигранної форми, а на зворотній стінці (рисунок 5.5 в)) показано циліндричний димохід.

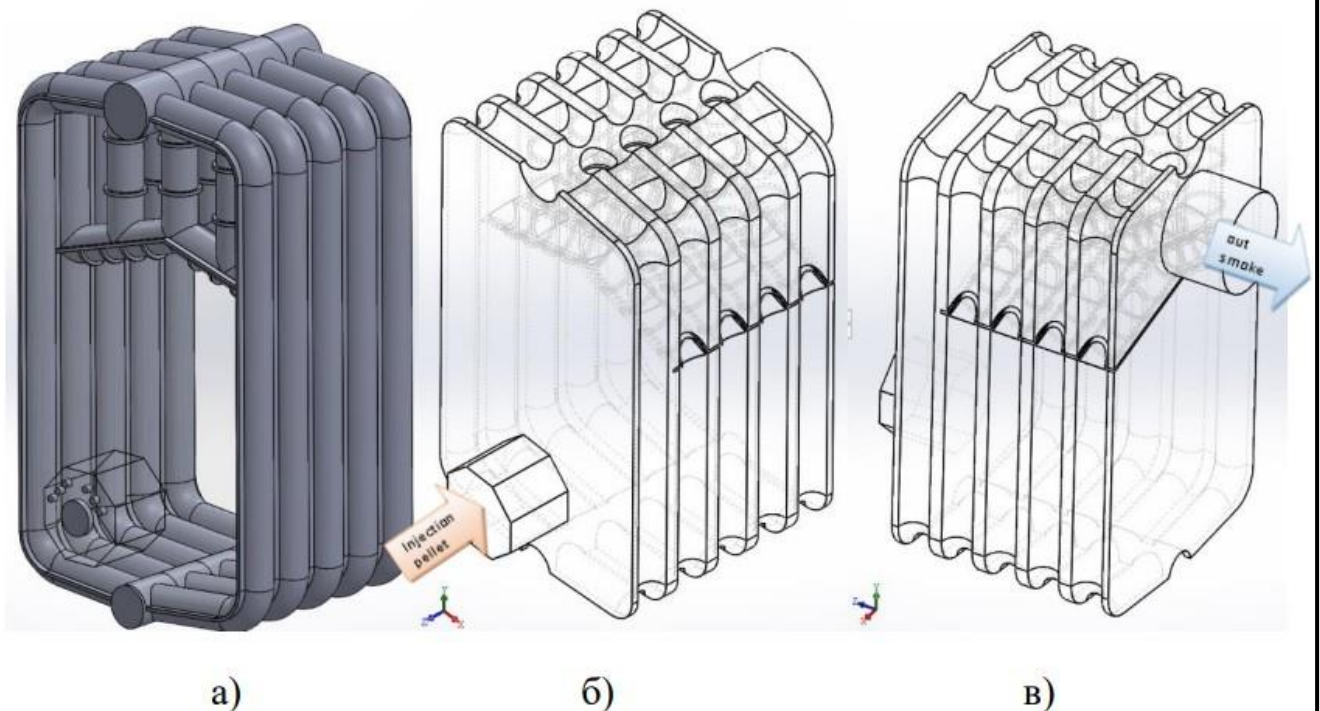


Рис. 5.5. Модель топкової камери пелетого котла Marten Industrial MIT300 (а), фронтальний (б) і зворотній (в) види моделі топкової камери

Порівняння результатів вимірювання з отриманими результатами при моделюванні представлені на рисунку 5.6. Результати числових досліджень представлені у стаціонарній постановці, витрати палива і окисника для виконання розрахунків обрано з огляду на усталені показники вимірювання температур, що відповідає робочому режиму роботи котла (рисунок 5.6 б)). Тобто, порівняння результатів вимірів слід виконувати за температурним

Зам. інв. №							Арк.
Підпис і дата							Арк.
Інв. № ор.							42
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата	Кваліфікаційна робота магістра	

графіком у часовому діапазоні 400...500 с. Представлені результати відповідають максимальній витраті палива $1,2 \times 10^{-3}$ кг/с і швидкості подачі повітря на пальник 2 м/с. Слід зазначити, що діапазон вимірних температур знаходиться в діапазоні значень 400...550 °С. За результатами розрахунків максимум температур в обраному перетині відповідає 510 °С, а більшість температурного графіку знаходиться в районі ≈ 400 °С, таким чином співставлення результатів дає можливість зробити висновок про задовільне співпадіння даних і підтверджує можливість використання застосованої математичної моделі для дослідження робочого процесу паливкової системи котла.

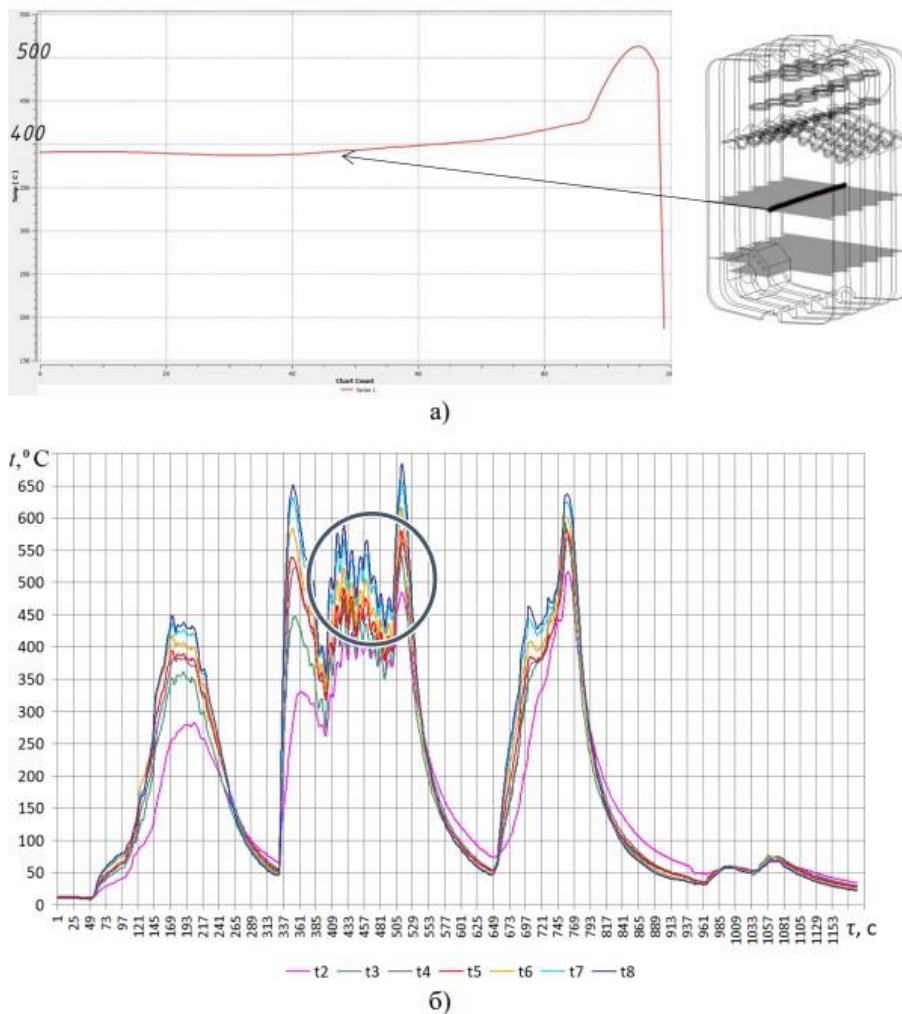


Рис.5.6. Порівняння результатів моделювання температур продуктів спалювання деревних пелет (а) з вимірним значенням у топці котла (б)

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ор.

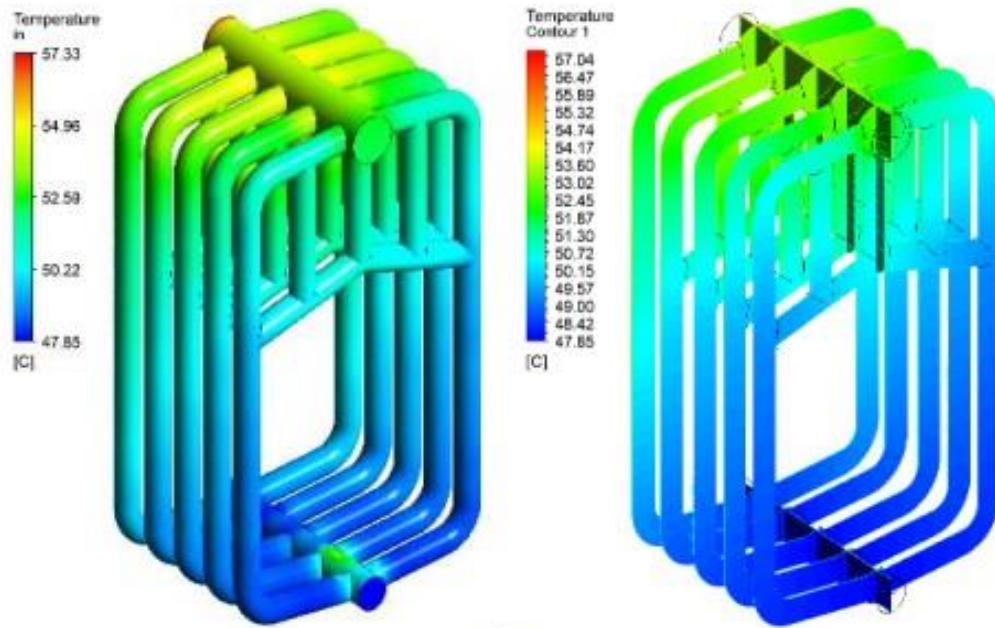
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата

Результати моделювання теплогідравлічного стану об'єкту приведені на рисунку 5.7. Як видно, топкова камера в об'ємі обмежена «водяною сорочкою». Зверху розташовується теплообмінник, конструкція якого являє собою додаткову секцію гідравлічної системи котла, що складається з оребрених труб. Така секційна конструкція котла дозволяє набирати необхідну 131 потужність, а збільшення площі теплообміну за рахунок теплообмінника підвищує ефективність утилізації теплоти відхідних газів. Отримані температурні градієнти показують, що температура теплоносія на виході становлять 57 °С, що відповідає робочому режиму опалювальної системи, а розрахунковий підігрів води у котлі не суперечить паспортним даним і не перевищує 15 °С.

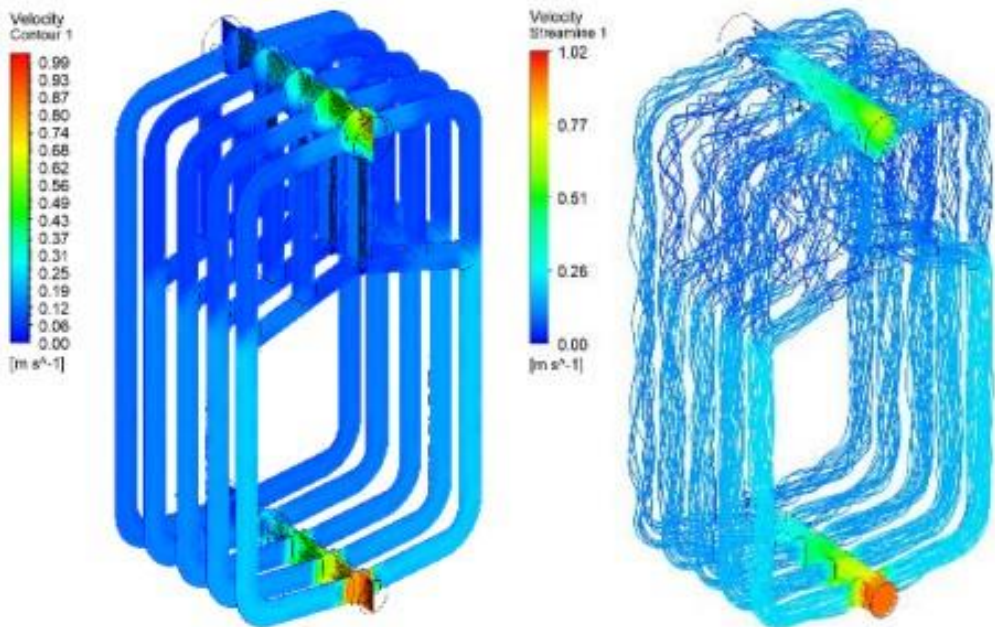
Швидкість циркуляції обрана з огляду на паспортні характеристики і складає 1 м/с (рисунок 5.7). Поле температур у топковій камері приведено на рисунку 5.8. Високотемпературна зона за результатами моделювання відповідає дійсній картині розвитку факелу і утворюється примусовим обдуванням підігрітого палива на спеціально обладнаній запальним тенем платформі пальника. Значні швидкості подачі окисника на деяких режимах сприяють безпосередньому контакту високоногрітих продуктів спалювання у факелі з фронтною стінкою топкової камери. За виключенням об'ємної зони існування факелу, температурне поле у розрізі топки достатньо рівномірне з верхньою межею біля 520 °С.

Звертають увагу досить високі значення температур у зоні виходу продуктів спалювання з топки до димоходу (більше 300 °С), але такі рівні температур відповідають результатам вимірювань у точці відбору проб для проведення газового аналізу, де одночасно з проведенням газового аналізу фіксувалася також температура.

Зам. інв. №							Арк.	
								44
Підпис і дата							Арк.	
								44
Інв. № ор.							Арк.	
								44
	Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата	Кваліфікаційна робота магістра	
								44



а)



б)

Рис.5.7. Температура (а) та швидкість (б) теплоносія

Зам. інв. №							Арк.
	Підпис і дата						
Інв. № ор.							Кваліфікаційна робота магістра
	Зм.	Кільк.	Арк.	Нодок.	Підп.	Дата	

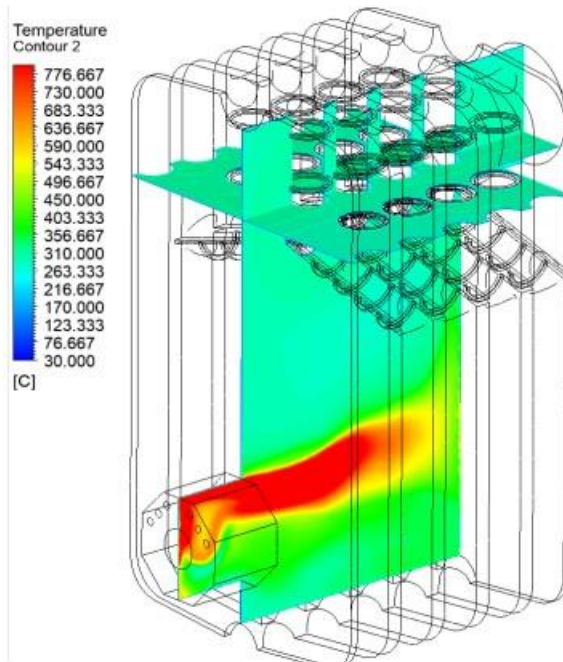


Рис.5.8. Поле температур продуктів горіння деревних пелет

Використаний пакет прикладних програм обчислювальної гідродинаміки ANSYS-Fluent має досить широкі можливості стосовно розрахунку та візуального представлення розрахункових параметрів. На рисунку 5.9 приведений розподіл Mean Mixture Fraction, що показує межі, де вуглець і летючі переходять з твердої в газову фазу. Орієнтовно, приведені результати слід інтерпретувати як такі, що моделюють вихід твердих часток. Процес утворення незгорілих летючих твердих частинок є показовим при спалюванні твердих палив будь-якого походження і потребує контролю при експлуатації твердопаливних котлів. Очевидно, що найбільш інтенсивний процес переходу до газової фази відбувається у пальнику і в області існування факелу, але при зміні режимів горіння процес реагування вуглецю уповільнюється, займаючи при цьому майже весь об'єм топки (рисунок 5.9 а), в))

Зам. інв. №							Арк.
Підпис і дата							Арк.
Інв. № ор.							46
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата	Кваліфікаційна робота магістра	

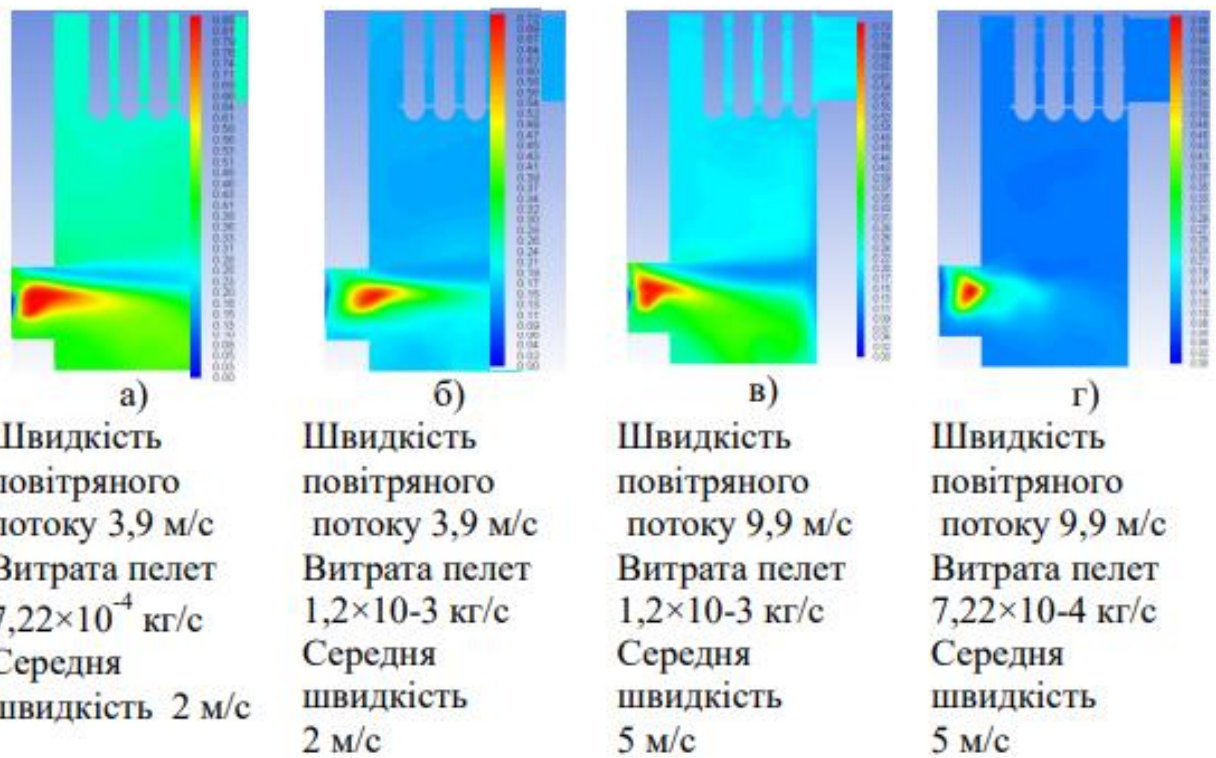


Рис.5.9. Розподіл параметру Mean Mixture Fraction у центральному перетині топкової камери

На рисунку 5.10, а), представлені результати моделювання параметрів Evaporation/Devolatilization (DPM вихід летючих); рисунок 5.10, б) – DPM Burnout (ступінь вигорання вуглецю); рисунок 5.10, в) – розподіл масової доли компонента реакції CO, та рисунок 5.10, г) – температурні поля з лініями струмів реагуючого потоку у центральному перетині топкової камери при різних режимах горіння. Розподіл наведених параметрів корелюється з гідродинамічною картиною потоку реагуючої суміші. На всіх представлених режимах видно, що існує розвинений факел реагуючих компонентів палива, який розвивається у горизонтальному положенні фактично відбиваючись від фронтної стінки топки і заповнює компонентами реакції як нижню подову частину, так і її загальний об'єм (рисунок 5.10, г)). При цьому, як показують розрахунки, верхня частина топкової камери до теплообмінника має більш рівномірний температурний розподіл у порівнянні з подовою частиною, де на

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ор.

						Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
							47
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата		

більшості 135 режимів відбувається охолодження факелу холодним повітрям і проходження реакції окиснення вуглецю сповільнюється (рисунок 5.10, в)).

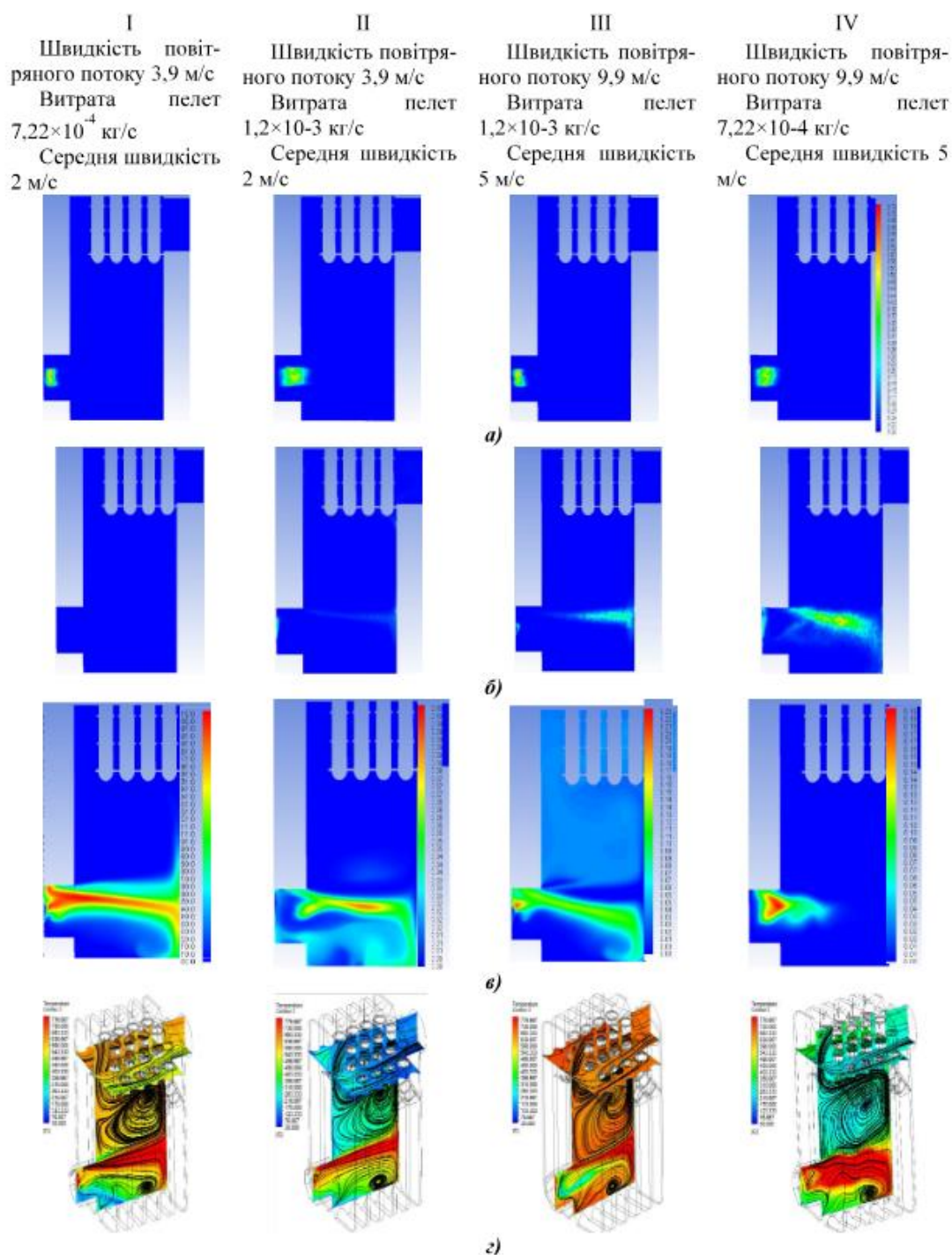


Рис.5.10. Розподіл параметрів: вихід летючих (а), ступінь вигорання вуглецю (б), розподіл масової долі компонента реакції CO (в) та температура (г) у центральному перетині топкової камери для різних режимів навантаження установки.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. № ор.	

Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата

Найбільш інтенсивне згоряння летких речовин у СО відбувається в полум'ї та у каналі пальника. Порівняння з температурними полями на рисунку 3.10 вказує на відповідність зон високої інтенсивності горіння СО та зон з температурою >550 °С. Однак, турбулентність є ще одним фактором, який визначає остаточну картину швидкостей проходження реакції горіння. Реакції СО з СО₂ ще мають високу інтенсивність на вході в першу частину конвективного теплообмінника у зв'язку з досить високою концентрацією СО, досить високі температури для спалювання СО і підвищений рівень турбулентності, що забезпечується обтіканням ребрих труб. Слід зазначити, що у цих областях швидкість реакції горіння переважно обмежена рівнем турбулентності. Результати також показують, що одна частина повітря для горіння, що виходить з пальника і тече під полум'ям, є надлишковою для процесів горіння (утворюючи там холодні зони, які можуть обмежувати швидкість реакцій горіння, рисунок 3.10, г)).

Зам. інв. №							Арк.	
								49
Підпис і дата							Арк.	
								49
Інв. № ор.							Арк.	
								49
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	Кваліфікаційна робота магістра	
								49

6. ОСОБЛИВОСТІ СПАЛЮВАННЯ АГРОПЕЛЕТІ НИЗЬКОЇ ЯКОСТІ

6.1. Загальна характеристика агропелет

Технологія виробництва агропелет практично не відрізняється від традиційних із деревини. Однак, треба зазначити, що сировина для агропелет суттєво відрізняється від деревини. Ця відмінність полягає у хімічному складі, гранулометричному составі, вологості. Єдине, що їх об'єднує – вони є відходами, які створюють значне навантаження на навколишнє середовище. Крім того, підприємства повинні витратити кошти на транспортування та захоронення відходів на сміттєвих полігонах. Безпосереднє використання кавового шламу, виноградних вичавок та відходів переробки круп'яних культур у вигляді добрива неможливе. Після проведення літературного пошуку про хімічний склад сировини, результати наведені у таблицях 1–3 [16], показує що наявність целюлози та лігніну гарантує, що агропелети можуть використовуватись у вигляді палива.

Табл.6.1. Хімічний склад відходів круп'яного виробництва

Вид сировини	Ліпіди	Клітковина	Зола	Протеїн
Лузга вівса	0,50	48,80	4,30	5,20
Лузга риса	2,00	38,60	16,90	5,20
Лузга гречки	1,60	29,40	5,00	4,09

Табл.6.2. Хімічний склад виноградних вичавок

Речовини	Целюлоза	Геміцелюлози	Пектинові речовини	Лігнін	«Сирий» протеїн	«Сирий» жир	Дубильні речовини	Мінеральні речовини
Вміст компонентів, %	22,3	12,9	0,7	35,4	18,8	1,4	1,8	3,1

Зам. інв. №							Підпис і дата						
Інв. № ор.							Кваліфікаційна робота магістра						
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата							Арк.	
												50	

Табл.6.3. Хімічний склад кавового шламу

Речовини	Кавова олія	Целюлоза і лігнін	Кофеоль	Белки
Вміст компонентів, %	7 – 12	60 – 75	3 – 5	5 – 7

Дані про вологість сировини (таблиця 4) були отримані безпосереднім вимірювання метод висушування до постійної маси за стандартною методикою.

Табл. 6.4. Вологість сировини для агропелет

Відходи	Лузга вівса	Лузга риса	Лузга гречки	Виноградні вичавки	Кавовий шлам
Вологість, %	9,5 – 11	8 – 11	6,5 – 8,2	48 – 60	82

З таблиці 4 випливає, що відходи круп'яного виробництва (лузга вівса, лузга риса, лузга гречки) мають вологість яка дозволяє безпосередньо спрямувати їх до пресування. Виноградні вичавки й кавовий шлам маючи непомірну високу вологість, тому повинні спочатку бути висушені. Відомо, що процес сушіння є найбільш енергоємним. Передбачається, що виготовлення пелет з кавового шламу або виноградних вичавок, буде здійснюватися на вітчизняних комбінатах з виробництва розчинної кави або на винних заводах, відповідно, тому сировина буде безкоштовною. Проведені дослідження показали, що вилучення вільної вологи за допомогою центрифугування, дозволить різко зменшити витрати енергії на зневоднення. Вологість кавового шламу зменшилась на 11,3%, витрати енергії на центрифугування склали 466,21 кДж на 1 кг вилученої вологи. Для сушіння пропонується конвективне сушіння у киплячому стані. На підставі проведених експериментальних досліджень встановлено, що швидкість сушіння - 5,67% / хв; питома витрата енергії на сушіння - 5,4 МДж/кг. Необхідно додати, що утилізація тепла відпрацьованого агента сушіння і вибір його оптимальної швидкості дозволить значно знизити енерговитрати. Крім того, в якості агента сушіння, можливо, використовувати

Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам. інв.№							Арк. 51
			Кваліфікаційна робота магістра						
			Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата	

димові гази, які утворюються в результаті згоряння пелет, що різко здешевить процес сушіння. швидкість сушіння в киплячому шарі вище радіаційного сушіння більш ніж в 3 рази [17, 18].



Рис.6.1. Структура собівартості виробництва пелет з шламу та виноградних вичавок.

З кавового шламу, виноградних вичавок, лузги вівса, лузги риса та лузги гречки було виготовлені пелети які були спалені у спеціальному стенді по типу піч з природною тягою. Стенд дозволяє вимірювати температуру горіння твердого палива, відсоток золи та теплоту згорання, завдяки скляній камері можлива візуалізація процесу горіння. Спостерігаючи за процесом горіння було помічено, що при однакових умовах найшвидше спалахував кавовий шлам, найповільніше агропелети із відходів переробки круп'яних культур. Кавовий шлам горить практично без диму на відміну від пелет із виноградних вичавок, лузги вівса, лузги риса та лузги гречки. В результаті були отримані наступні дані які представлені у таблиці 5.

Зам. інв. №					
	Підпис і дата				
Інв. № ор.					
	Кваліфікаційна робота магістра				
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата
					Арк. 52

,Табл. 6.4. Вологість сировини для агропелет

Сировина пелет	Теплота згорання, МДж/кг	%, золи	Температура горіння, °С
Деревина	15 – 19	0,5 – 1,5	270
Кавовий шлам	15 – 17	0,3 – 0,5	515
Виноградні вичавки	14 – 16	1 – 2	520
Лузга вівса	12,5 – 14	4 – 6	540
Лузга риса	11 – 12	11 – 15	540
Лузга гречки	13 – 14,5	8 – 9	540

В результаті проведених досліджень встановлено, що агропелети за своїми теплотехнічними характеристиками можуть вдало конкурувати з традиційними із деревини. Враховуючи їх енергетичні характеристики припустимо заміна традиційного палива (природного газу та вугілля) на підприємствах АПК де утворюються ці відходи на агропелети. Враховуючи безперервний тренд збільшення вартості енергоносіїв з одного боку та безкоштовність відходів й зменшення витрат на їх утилізацію можливо очікувати економічну привабливість використання агропелет.

6.2. Рекомендації щодо підбору паливників під агропелети низької якості

Головна проблема спалювання пелет з соломи злакових культур полягає у відносно низькій температурі розм'якшення та розплавлення золи, яка утворюється в процесі горіння пелет цього виду. У випадку спалювання пелет з деревини ця проблема не стоїть так гостро. Зольність пелет з деревини – нижча, ніж у пелет з соломи, а температура розм'якшення та плавлення – більш висока. Тому при їх спалюванні зола просипається крізь колосники і не захаращує прохід для повітря та димових газів. У випадку спалювання пелет з сільськогосподарських відходів, їх поверхня швидко покривається кіркою, яка ускладнює вихід піролізних газів з середини гранул та проникнення кисню у

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ор.

						Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
							53
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата		

середину частинок, що перешкоджає горінню вуглецевого залишку. Внаслідок цього гранули повністю не згорають, а їх залишки осідають на поверхнях колосників. На цих поверхнях утворюються конгломерати з розм'якшеної золи, смоли, що не розклалася внаслідок піролізу, та недогорілих гранул. Процес горіння в пальнику уповільнюється, а температура в камері пальника зменшується. Внаслідок цього конгломерати з розплаву золи твердіють та майже повністю перекривають прохід для повітря та димових газів через протоки. Виходячи з викладеного, пропонуються наступні заходи з вдосконалення конструкційних характеристик пелетного пальника для можливості його використання для спалювання пелет аграрного походження. Як базовий варіант розглядається конструкція пальника «OXI Ceramic+300» який призначений для спалювання пелет вищої якості, які виготовлені з деревини, мають низьку зольність, високу температуру плавлення золи та високу теплоту згорання.

Вимушена регульована подача повітря в камеру згорання. В базовому варіанті пелетного пальника повітря, що необхідне для підтримання процесу згорання палива, подається в камеру згорання через отвір в дверцятах камери. Воно надходить за рахунок природної тяги, що утворюється в трубі для виходу газоподібних продуктів згорання.

Внаслідок можливого захаращення продуктами неповного згорання пелетного палива повітряних потоків, виникає ситуація нестачі повітря для підтримання процесу горіння, або надлишок холодного зовнішнього повітря, що охолоджує камеру згорання. В таких випадках процес горіння буде нестійким та нестабільним. Тому рекомендується регулювати витрати повітря відповідно до режиму горіння пелет в пальнику.

Запобіганню цих ситуацій можливу шляхом застосування додаткової механічної вимушеної подачі повітря в зону горіння за допомогою вентилятора. Його робота та витрати повітря повинні регулюватися відповідно до встановленого режиму горіння, а також відповідно до витрат палива, що подається з бункера в камеру згорання. Вентилятор доцільно встановлювати під

Зам. інв. №							Арк.
Підпис і дата							Кваліфікаційна робота магістра
Інв. № ор.							54
	Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата	

шнеком, щоб додаткове повітря подавалося у нижню частину камери згоряння.

Доцільно передбачити також можливість попереднього підігріву повітря, що надходить до камери. Для цього необхідно в конструкції пальника передбачити рекуперативний теплообмінний пристрій, у якому здійснюється підігрів повітря, що надходить з вентилятора, димовими газами.

Запобігання утворенню конгломератів з розм'якшеної золи та недогорілих гранул. В базовому варіанті пальника зола, що утворюється після згоряння пелет, видаляється з камери згоряння потоком повітря, що надходить ззовні. У випадку пелет з соломи, через низьку температуру плавлення золи, що залишається після згоряння пелет з соломи, на поверхнях колосників камери згоряння утворюються конгломерати з цієї розплавленої золи та недогорілих 163 частинок біопалива. Внаслідок цього уповільнюється процес догорання цих частинок. Крім того, ці конгломерати перешкоджають вільному руху повітря, що необхідне для підтримання процесу горіння. Якщо неможливо запобігти процесу їх утворення, необхідно передбачити спеціальні пристрої для їх руйнування та видалення з камери згоряння.

Один з варіантів вирішення цієї проблеми є встановлення ротаційної камери згоряння в пелетному пальнику. Цей спосіб видалення руйнування конгломератів та видалення золи вже застосовується в ряді інноваційних рішень стосовно пелетних пальників. При обертових рухах камери згоряння частинки недогорілого палива також знаходяться у русі та не зафіксуються на певних ділянках поверхні пальника. Через це покращується контакт їх поверхонь з повітрям. Зменшується також степінь налипання смоли та розплавленої золи на поверхнях камери згоряння. Цим самим забезпечується очищення поверхонь камери від золи і шлаків. При цьому утворюється також закручений, більш компактний факел полум'я.

Для запобігання фіксації та налипанню конгломератів з продуктів згоряння на поверхнях пальника доцільно також застосовувати подвійні колосникові

Зам. інв. №						
	Підпис і дата					
Інв. № ор.						
	Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата
Кваліфікаційна робота магістра						Арк.
						55

решітки, в яких передбачено один рухомий колосник і один - нерухомий. Цей спосіб видалення незгорілого палива або золи також застосовується в деяких сучасних пелетних пальниках. Принцип його роботи полягає в тому, що рухомий колосник, що знаходиться зверху над нерухомим колосником, здійснює періодичні зворотно-поступальні рухи у горизонтальній площині пальника. Коли рухомий колосник відходить назад, на нього навантажується порція пелетного палива. Потім він вертається в зону горіння, де протікає процес спалювання пелет. При цьому він водночас виштовхує золу та закоксовані конгломерати з камери згоряння в зольник котла. Недоліком такого способу очищення пальника від золи є те, що зазор між рухомим та нерухомим колосниками може забиватися залишками золи і тоді рух колосника може загальмуватися.

Для запобігання процесу спікання та налипання золи можуть також застосовуватися ворошилки палива з механічним приводом. Ворошилка, що рухається над поверхнею колосника, при кожній подачі нової порції палива рівномірно розподіляє пелети по всій поверхні колосників, руйнує конгломерати, що утворюються, і одночасно видаляє золу, скидаючи її з колосника у зольник. Ворошилка забезпечує також більш ефективний контакт палива з повітрям. За рахунок цього підвищується якість спалювання пелет та забезпечується видалення золи з пальника.

Регулювання процесу видалення золи з камери згоряння. В базовому варіанті пальника видалення золи, що має вигляд пилу, передбачається разом з потоком повітря, що надходить до пальника ззовні за рахунок природної тяги в димарі. Це буде так званий пневматичний метод очистка пальника від золи. Якщо зола складається переважно з конгломератів та закоксованих залишків пального, для її видалення необхідно застосувати спеціальний пристрій. Це може бути, наприклад, шнековий транспортер, що автоматично видаляє золу з камери згоряння та переміщує її. Видалення золи може здійснюватися також рухомим колосником, що розглядався вище.

Підвищення температури в камері згоряння. У базовому варіанті

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ор.

						Кваліфікаційна робота магістра	Арк.
							56
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата		

пальника, що призначений для спалювання низькозольного пелетного палива з деревини стандарту А, забезпечується рівень температури, що є достатнім для підтримки процесу горіння. Корпус цього пальника - металевий. У випадку ж спалювання пелет невисокої якості, або виготовлених з сільськогосподарських відходів, необхідно передбачити заходи з підтримання належного температурного рівня в камері згоряння пальника. З цією метою необхідно провести теплоізоляцію камери згоряння. Можна, наприклад, виготовити її з керамічного матеріалу, або нанести на зовнішню поверхню металевого корпусу камери згоряння шар теплоізоляційного матеріалу. Як такий матеріал може бути застосовано 165 вироби з базальтових волокон, або з вогнетривких матеріалів, таких, наприклад, як керамічні плити або шамотна цегла. Ці заходи дозволять підвищити температуру в камері згоряння та покращити ефективність процесу спалювання пелет.

Зам. інв. №							Арк.
Інв. № ор.						Кваліфікаційна робота магістра	
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.		Дата

8. Echi S, Bouabidi A, Driss Z, Abid M. CFD simulation and optimization of industrial boiler. Energy 2019;169:105-14.
9. EN 303-5. Heating boilers – Part 5: heating boilers for solid fuels, manually and automatically stoked, nominal heat output of up to 500 kW – Terminology, requirements, testing and marking. 2012.
10. Yao Bin Yang, Robert Newman, Vida Sharifi, Jim Swithenbank, John Ariss. Mathematical modelling of straw combustion in a 38 MWe power plant furnace and effect of operating conditions. Fuel. 2007. 86. P. 129-142.
11. Scarlat N, Dallemand JF, Monforti-Ferrario F, Nita V. The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: policies and facts. Environ Dev 2015;15:3–34.
12. Zhou H., Jensen A. D., Glarborg P., Jensen P. A., Kavaliauskas A. Numerical modeling of straw combustion in a fixed bed. Fuel. 2005.V. 84. P. 389- 403.
13. Баранюк О. В., Сірий О. А., Веремійчук Г. М., Лисенко О. М. Моделювання горіння пелет у котлах потужністю до 25 кВт. Теплофізика та Теплоенергетика. 2022. Т. 44. №4. С. 89-98.
14. Пелетний паливник: пат. 45799 Україна: МПК F23D 21/00 № u2009 06217; заявл. 16.06.2009; опубл. 25.11.2009, Бюл. № 22.
15. Твердопаливні котли Marten | Виробник Мартен (2025) Retrieved from <https://marten.com.ua/>. [in Ukraine].

Зам. інв. №							Арк.
Підпис і дата							Арк.
Інв. № ор.							Кваліфікаційна робота магістра
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	59

- 16.Перетяка, С. М., Осадчук, П. І.. Пелети із відходів харчових виробництв. Аграрний вісник причорномор'я. Вип. 90. 2018р.
- 17.Терзієв С.Г., Ружицька Н.В., Саламаха В.І., Малашевич С.А. Дослідження процесу сушіння шламу кави під дією інфрачервоного випромінювання. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь. 2011. Вип. 11, С. 153 – 158.
18. Бурдо О.Г., Терзієв С.Г., Ружицька Н.В., Борщ А.А. Кінетика ІЧ – сушіння шламу кави. Харчова наука і технологія. 2011. № 4 (17). С. 96 – 99.
- 19.Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Баштовий А.І., Гелетуха Г.І. Огляд кращих практик організації роботи ринку біопалива у країнах ЄС. Промислова теплотехніка. 2017. т. 39. № 5. С. 108 – 112.
- 20.Лисенко О. М., Веремійчук Г. М., Сірий О. А. Дослідження спалювання пелет сільськогосподарського походження у котлах потужністю до 25 кВт. Теплофізика та Теплоенергетика. 2022. Т. 44. №3. С. 99-108.
- 21.Басок Б. І., Гончарук С. М., Приємченко В. П., Лисенко О. М., Веремійчук Г.М. Дослідження теплотехнічних характеристик роботи побутового котла з механічним пелетним паливом. Екологічна безпека та природокористування. 2021. № 40(4). С. 60-72.
- 22.Basok B., Veremiichuk A., Baranyuk O., Siruy O. Simulation of biopellet combustion process in low power boilers. Actual problems of renewable energy, construction and environmental engineering, Kielce. 2021. P. 141-144

Зам. інв. №							Арк.	
Підпис і дата							Арк.	
Інв. № ор.							Кваліфікаційна робота магістра	60
	Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підп.	Дата		

- 23.А. Veremiichuk. Experimental studies of burning pellets in a burner up to 30 KW. Journal of new technologies in environmental science. № 1. Vol. 7. 2023. P. 3-10.
- 24.Pfeiffer DA. Eating fossil fuels: oil, food, and the coming crisis in agriculture. Gabriola Island: New Society Publishers; 2006.
- 25.Чурілов Д.Г., Калініченко В.М., Калініченко А.В., Малинська Л.В. Державне регулювання твердого біопалива як один із чинників збалансованого природокористування. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2012. №2. С. 89 – 93.

Зам. інв. №							Арк.
Підпис і дата							Арк.
Інв. № ор.							Кваліфікаційна робота магістра
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	61



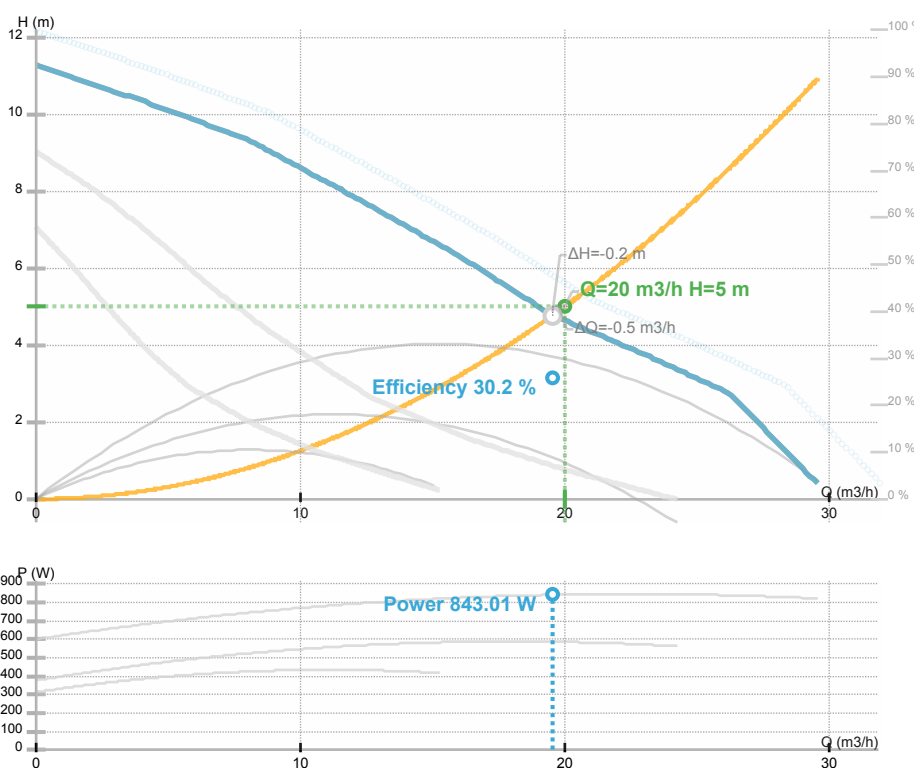
GNMbasic II 50-120F

979524500

GNMbasic II / Three speeds circulation pumps with flanges 230V Heating/cooling

GENERAL

Артикул	979524500		
Product name	GNMbasic II 50-120F		
Seal type			
Нетто вага	23.50 kg		
H макс	11.68 m	H min	0.0 m
Q макс	30.31 m³/h	Q min	0.0 m³/h
	%		
Рівень шуму	dB(A)		



ELECTRICAL DATA

Номінальна напруга	
Частота мережі	50 Hz
Потужність двигуна	829.5 W
Об. / хв.	2880 rpm
Клас ізоляції	200 °C
Номінальний струм	3.7 A
Клас захисту	IP44
Thermal protection	
Frame size	
Motor i e class	

INSTALLATION

Тип рідини	Water VDI 2035, glycol 50%
Діапазон температури рідини	-10.0 ÷ 120.0 °C
Максимальна температура навколишнього середовища	40 °C
Монтажна довжина	280 mm
Вхід насоса DN	50
З'єднання	

MATERIAL

Матеріал підшипників	Графіт
Матеріал робочого колеса	AISI 304
Матеріал проточної частини	Сірий чавун
Матеріал вала	AISI 431

GHNMbasic II 50-120F

979524500

GHNMbasic II / Three speeds circulation pumps with flanges 230V

Heating/cooling



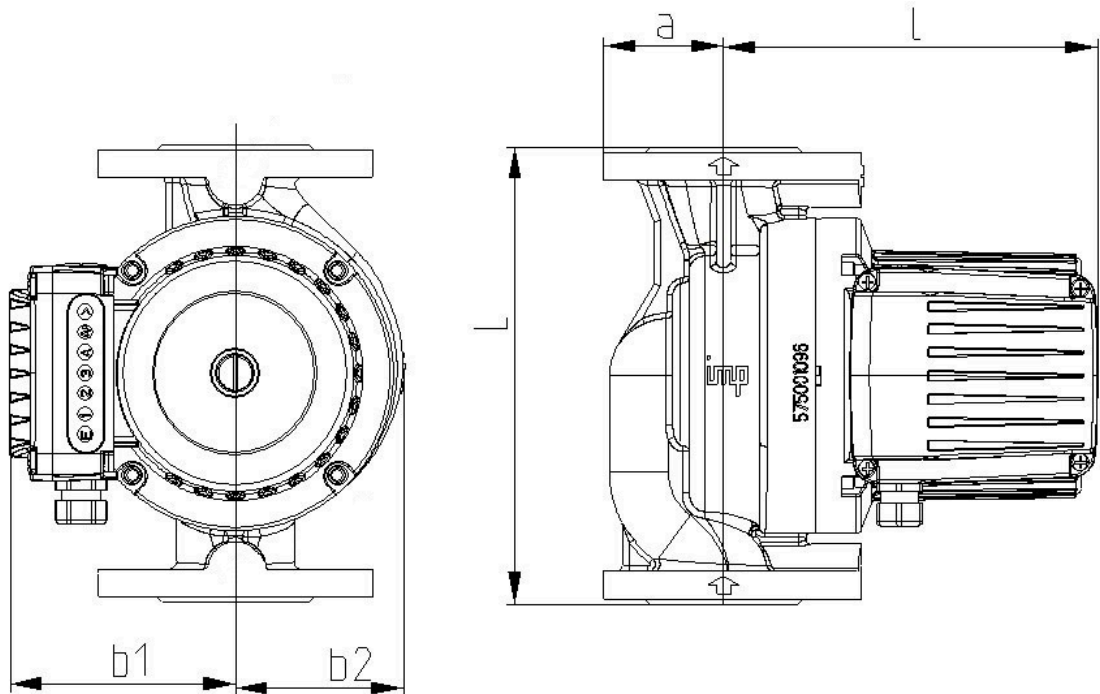


GHNbasic II 50-120F

979524500

GHNbasic II / Three speeds circulation pumps with flanges 230V
Heating/cooling

Ескиз



DN=50 L=280 a=70 l=220 b1=130 b2=123 R=1/4

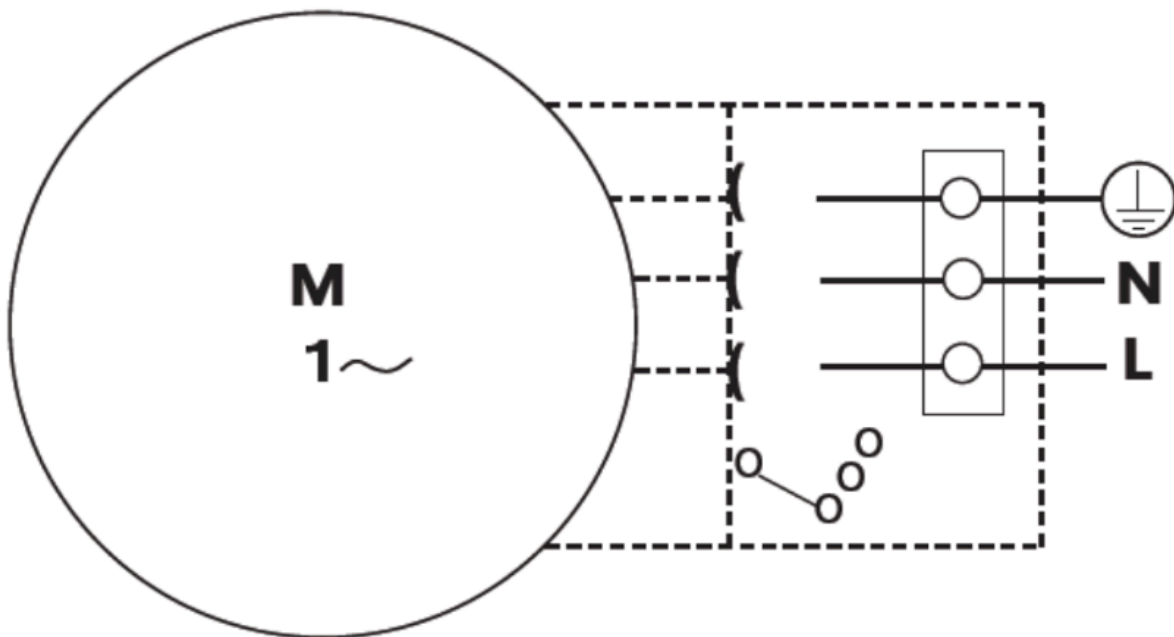


GHNbasic II 50-120F

979524500

GHNbasic II / Three speeds circulation pumps with flanges 230V
Heating/cooling

Електрична схема





GHNbasic II 50-120F

979524500

GHNbasic II / Three speeds circulation pumps with flanges 230V
Heating/cooling



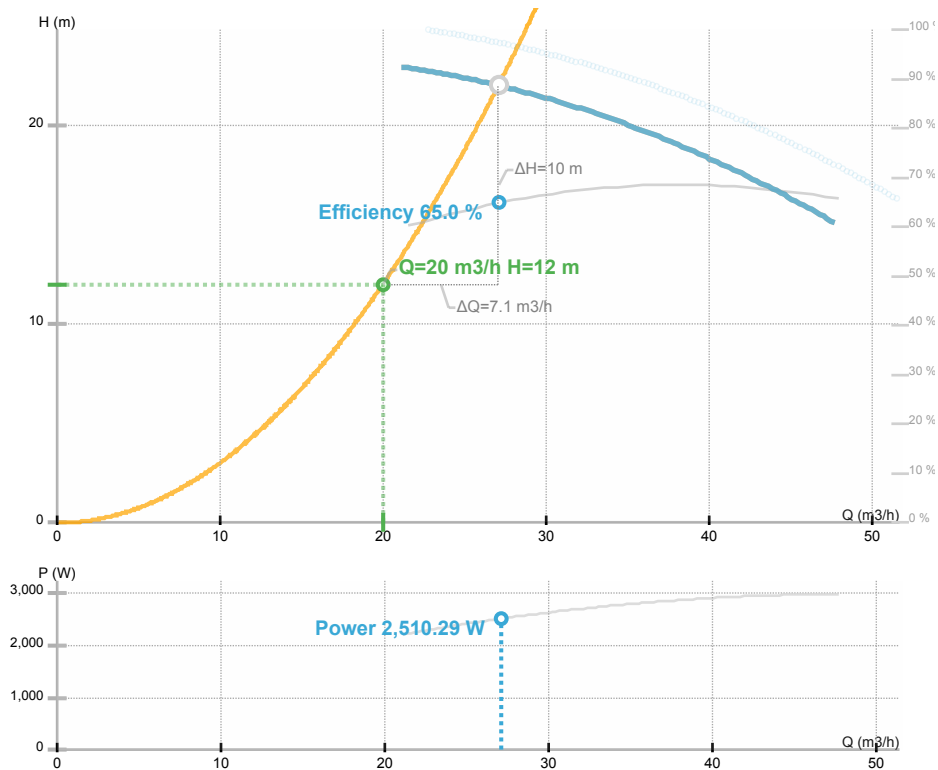
CLD 65-240/2/3.0A

979523448

CLD / Standard double in-line pumps

GENERAL

Артикул	979523448		
Product name	CLD 65-240/2/3.0A	M e i	≥ 0,40
Seal type	Mechanical seal		
Нетто вага	91.00 kg		
H макс	23.0 m	H min	15.0 m
Q макс	48.0 m3/h	Q min	20.0 m3/h
	%		
Рівень шуму	71 dB(A)		



ELECTRICAL DATA

Номінальна напруга	
Частота мережі	50 Hz
Потужність двигуна	3000 W
Об. / хв.	2900 rpm
Клас ізоляції	F (155 °C)
Номінальний струм	5.6 A
Клас захисту	IP55
Thermal protection	PTC
Frame size	
Motor i e class	IE3

INSTALLATION

Тип рідини	Water VDI 2035, glycol 50%
Діапазон температури рідини	-20.0 ÷ 130.0 °C
Максимальна температура навколишнього середовища	40 °C
Монтажна довжина	515 mm
Вхід насоса DN	65
З'єднання	

MATERIAL

Матеріал підшипників	AQ1EGG
Матеріал робочого колеса	Сірий чавун
Матеріал проточної частини	Сірий чавун
Матеріал вала	Stainless steel



IMP PUMPS d.o.o. Pod hrasti 28 SI - 1218 Komenda Slovenia Phone: +386 (0)1 28 06 400 Fax: +386 (0)1 28 06 460

Приєднання

Макс. робочий тиск **10 bar**

CLD 65-240/2/3.0A

979523448

CLD / Standard double in-line pumps



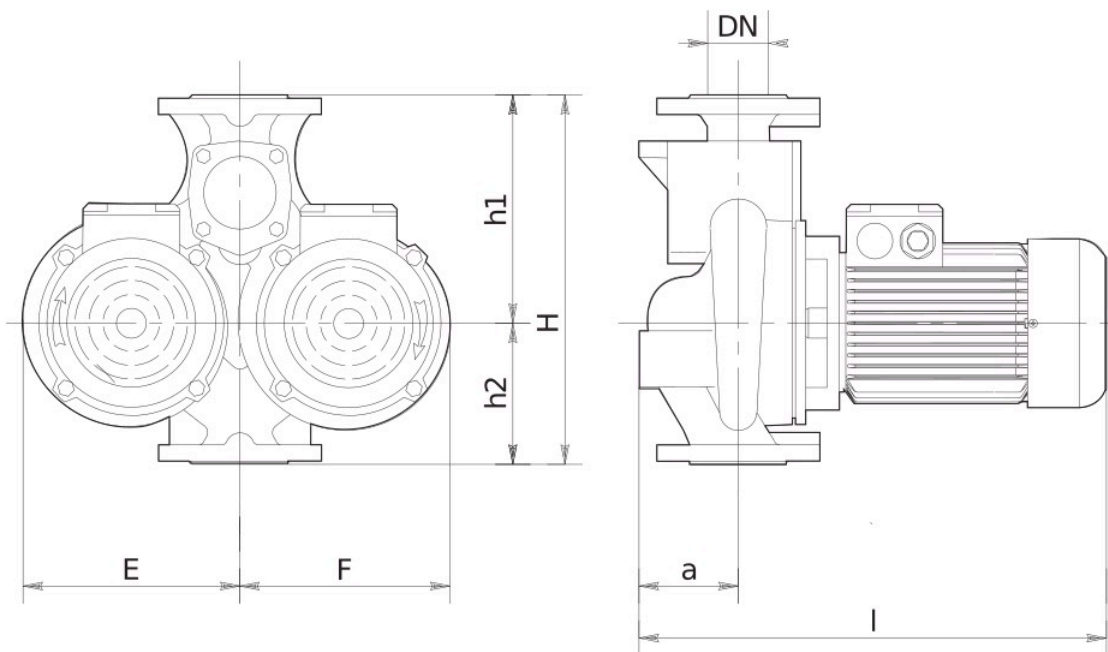


CLD 65-240/2/3.0A

979523448

CLD / Standard double in-line pumps

Ескиз



E=275, F=268, H= 450, h1=270, h2=180, DN=65, a=130, l=515



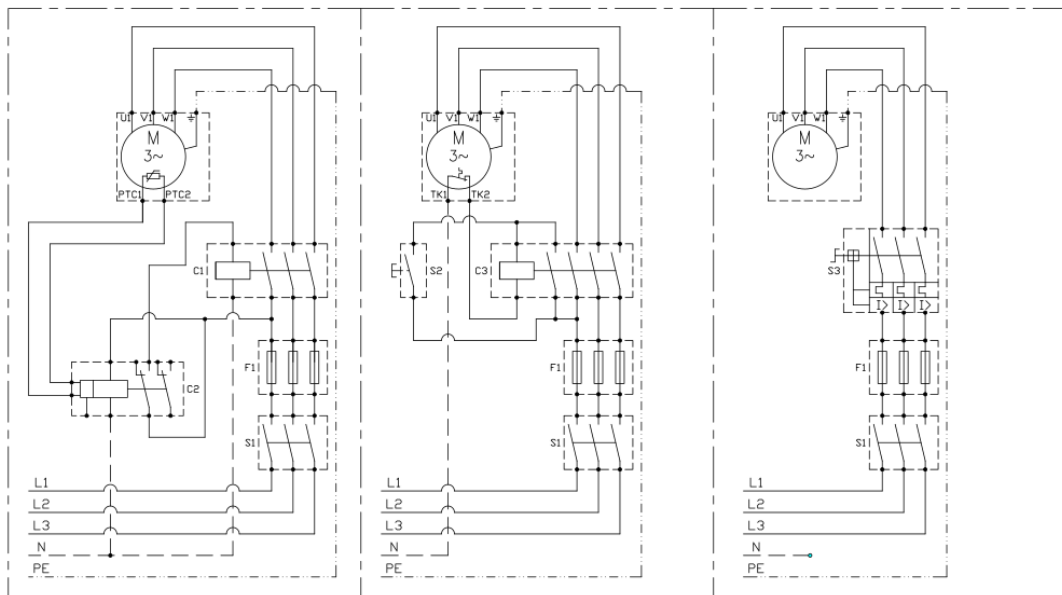
CLD 65-240/2/3.0A

979523448

CLD / Standard double in-line pumps

Електрична схема

SLD	Tri fazni motor, termično varovan s PTC uporom	Tri fazni motor termično varovan s termo kontaktom (TKD)	Tri fazni motor brez vgrajene termo zaščite
EN	3-phase motor, thermistor (PTC) thermal protection	3-phase motor, bimetallic switch (TKD) thermal protection	3-phase motor without thermal protection
РУ	Трёхфазный электродвигатель со встроенным терморезистором (PTC)	Трёхфазный электродвигатель со встроенным термоконтактом (TKD)	Трёхфазный электродвигатель без встроенной термозащиты
HR	Trofazni motor, termički zaštićen s PTC sondom	Trofazni motor termički zaštićen s termo kontaktom (TKD)	Trofazni motor bez ugrađene termičke zaštite
DE	3-Phasen-Motor, Thermistor (PTC) Wärmeschutz	3-Phasen-Motor, thermischer Schutz mit Bimetal Schalter (TKD)	3-Phasen-Motor ohne thermischen Schutz





CLD 65-240/2/3.0A

979523448

CLD / Standard double in-line pumps

Розрахунок та Підбір — Розширювального Бака

Вихідні дані

4000 літрів	Об'єм води в системі опалення	4.9 бар	H: Статичний тиск у системі опалення
80 °C	Середня температура теплоносія у розрахунковому режимі	10.0 бар	Phot: Максимальний тиск для системи опалення у місці підключення розширювального бака

Результати розрахунку

$1003 - 0.156 * 80 - 0.0029 * 80^2 = 972$ [кг/м³]	Густина теплоносія при $t=80^{\circ}\text{C}$
$(998 - 972)/998 = 0.026$ [літрів/кг]	Питомий приріст об'єму води при нагріванні з 15 до 80°C
$1.1 * 0.026 * 4000 = 114$ [літрів]	Корисна ємність баку з урахуванням 10% запасу
$0.025 * 4000 = 100$ [літрів]	Резервна ємність для компенсації незначних підтікань у системі опалення
$114 + 100 = 214$ [літрів]	Сумарний корисний об'єм бака
$0.3 + 4.9 = 5.2$ [бар]	P_{gas} : Початковий тиск газового простору у баці
$(10.0 + 1.0) / (1.0 + 114 / 214 * \{ [10.0+1] / [10.0-5.2] - 1.0 \}) - 1.0 = 6.8$ [бар]	P_{cold} : Початковий експлуатаційний тиск
$114 * (10.0+1.0) / (10.0-5.2) = 261$ [літрів]	Мінімальний об'єм бака
$214 * (10.0+1.0) / (10.0-5.2) = 490$ [літрів]	Рекомендований об'єм бака з урахуванням резервної ємності

Результат підбору

Elbi : ERCE

Italy

500 літрів	Об'єм газового простору
1 шт	Кількість баків
10 бар	Максимальний робочий тиск
1.5 бар	Початковий тиск газового простору
775 / 1425 мм	Діаметр / висота бака
DN 32 мм	Номінальний діаметр патрубків



Інструкція з налаштування

- Перед підключенням бака до системи опалення встановіть в ньому початковий тиск газового простору [5.2 бар]. Для цього треба за допомогою компресора накачати бак через ніпель у корпусі.
- Підключіть бак до системи опалення та повільно заповніть її водою, до тих пір, поки тиск в системі не зрівняється з тиском газового простору розширювального бака [5.2 бар].
- Включіть циркуляційний насос та продовжуйте заповнювати систему водою до того моменту, поки в місці підключення розширювального бака не встановиться початковий експлуатаційний тиск [6.8 бар]. У цей час в бак потрапить резервний експлуатаційний об'єм води [100 літрів].
- Після підключення джерела тепла та переходу в режим роботи з максимальною температурою, кожен кілограм теплоносія збільшиться в об'ємі на величину питомого збільшення об'єму [0.026 літрів/кг], а в розширювальний бак потрапить теплоносії в об'ємі, що дорівнює корисній ємності бака 114 [літрів]. У цей час тиск у баку підвищиться до максимального робочого тиску [10.0 бар].

Розрахунок та Підбір - Трьохходового клапана

Вихідні дані

30.00 м³/год	Розрахункова витрата води	7.00 бар	Тиск перед клапаном
90 °C	Максимальна температура води	0.30 бар	Втрати тиску на регульованій ділянці без урахування втрат тиску на клапані

Результати розрахунку

$(0.3 * [0.30 \text{ бар}]) / (1 - 0.3) = 0.13 \text{ [бар]}$	Нижній поріг втрат тиску на регулюючому клапані, який забезпечить оптимальне регулювання якщо витратна характеристика клапана логарифмічно-лінійна
$(0.5 * [0.30 \text{ бар}]) / (1 - 0.5) = 0.30 \text{ [бар]}$	Верхній поріг втрат тиску на регулюючому клапані, який забезпечить оптимальне регулювання
$dP_{\text{max}} = [0.30 \text{ бар} + 0.30 \text{ бар}] = 0.6 \text{ [бар]}$	Максимальний можливий перепад тиску на клапані
$K_v \text{ max} = [30.00 \text{ м}^3/\text{год}] / [0.13 \text{ бар}]^{0.5} = 83.2 \text{ [м}^3/\text{год}]$	Максимальна пропускна здатність регулюючого клапана
$K_v \text{ min} = [30.00 \text{ м}^3/\text{год}] / [0.30 \text{ бар}]^{0.5} = 54.8 \text{ [м}^3/\text{год}]$	Мінімальна пропускна здатність регулюючого клапана
$([G \text{ 30.00 м}^3/\text{год}] / [K_{vs} \text{ 63 м}^3/\text{год}])^2 = 0.23 \text{ [бар]}$	Падіння тиску на повністю відкритому клапані з $K_{vs}=63$ при витраті теплоносія 30.00 м³/год
$0.00000005 * [90 \text{ °C}]^3.658 = 0.70 \text{ [бар]}$	Абсолютний тиск насичення парів води при температурі 90°C
$0.2 * (7.00 + 1 - 0.70) = 1.46 \text{ [бар]}$	Нижня межа безкавітаційної втрати тиску на клапані
$0.6 * (7.00 + 1 - 0.70) = 4.38 \text{ [бар]}$	Верхня межа безкавітаційної втрати тиску на клапані
$dP_{\text{max}} \text{ 0.6 [бар]} \leq 1.46 \text{ [бар]}$	Кавітації на клапані не буде
$[30.00 \text{ м}^3/\text{год}] / \{3600 * 3.14 * [(DN65) * 0.001]^2 * 0.25\} = 2.5 \text{ [м/с]}$	Швидкість потоку у межах нормованої $V < 3.0 \text{ [м/с]}$

Результат підбору : Клапан регулюючий трьохходовий

Danfoss : VF 3

Denmark

DN 65 [мм]	Номінальний діаметр DN
Kvs 63 [м³/год]	Пропускна здатність
PN 16 [бар]	Номінальний тиск PN
логарифмічно-лінійна	Регульовальна характеристика
dT 2 ... 130°C	Допустимий діапазон температур
чавун	Матеріал корпусу



Результат підбору : Привід електричний лінійний

Danfoss : AME 435, AMV 435

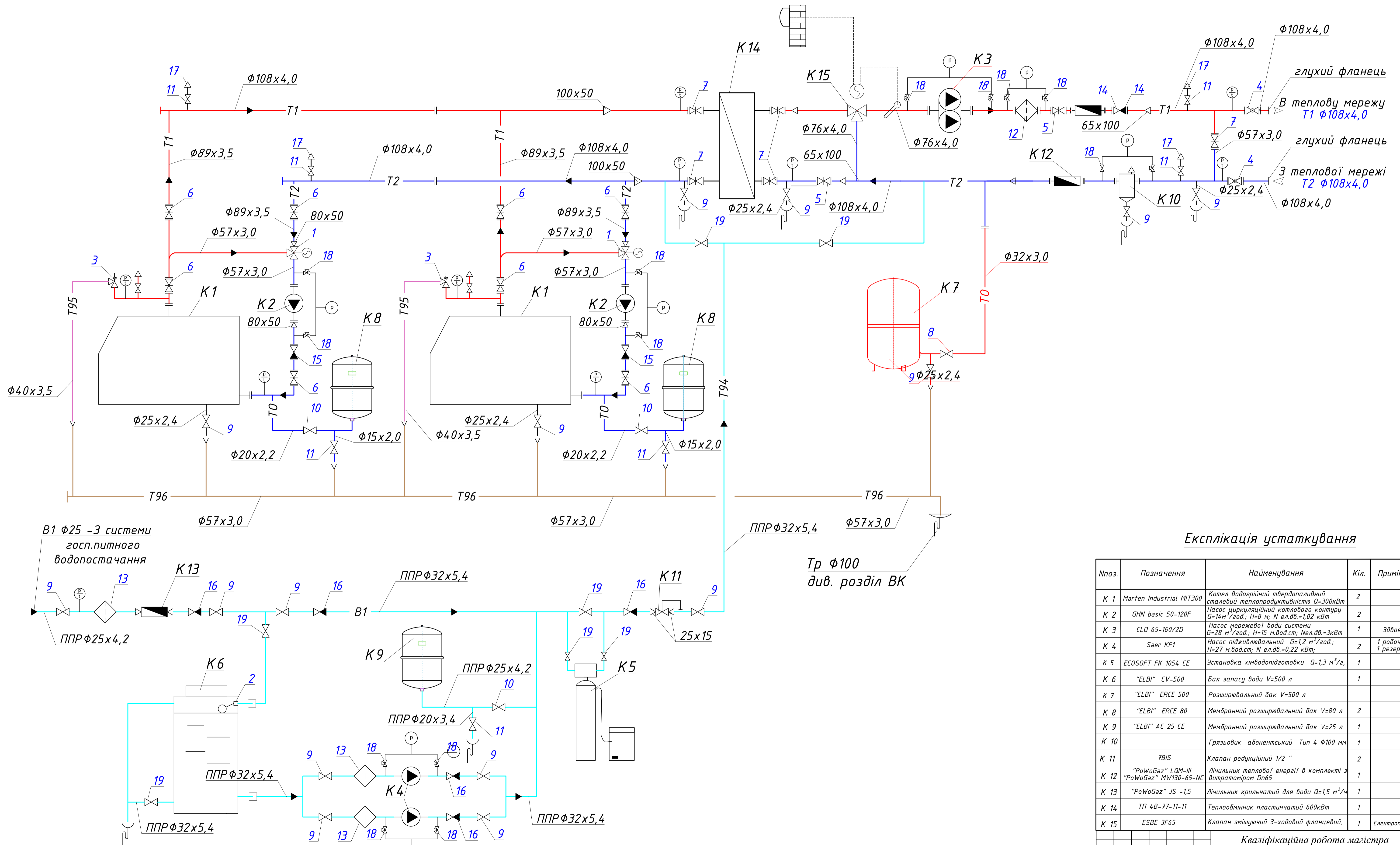
2.5 [бар]	Максимальна різниця тисків між вхідним і вихідним патрубком клапана при якій електричний привід зможе перекрити клапан
------------------	--

AME435 ::: Керуючий сигнал [аналоговий] : Зусилля [400 N] : IP 54
 Хід штока [20 mm] : Швидкість [7,5 / 15 sec/mm] : Кінцеві перемикачі [обладнаний]
 Напряга живлення [~24V | ~ 50 / 60 Hz | 4.5 VA]

AMV435 ::: Керуючий сигнал [трьохточковий] : Зусилля [400 N] : IP 54
 Хід штока [20 mm] : Швидкість [7,5 / 15 sec/mm] : Кінцеві перемикачі [обладнаний]
 Напряга живлення [~24/ 230V | ~ 50 / 60 Hz | 2 VA]



Принципова теплова схема



Експлікація устаткування

№поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
K 1	Marten Industrial MIT300	Котел водогрійний твердопаливний сталевий теплопровідність $Q=300\text{кВт}$	2	
K 2	GHN basic 50-120F	Насос циркуляційний котлового контуру $G=14\text{м}^3/\text{год.}$, $H=8\text{ м.}$, $N\text{ ел.дв.}=1,02\text{ кВт}$	2	
K 3	CLD 65-160/2D	Насос мережевої води системи $G=28\text{ м}^3/\text{год.}$, $H=15\text{ м.вод.ст.}$, $N\text{ ел.дв.}=3\text{кВт}$	1	Здвоєний
K 4	Saer KF1	Насос підживлювальний $G=1,2\text{ м}^3/\text{год.}$, $H=27\text{ м.вод.ст.}$, $N\text{ ел.дв.}=0,22\text{ кВт}$	2	1 робочий, 1 резервний
K 5	ECOSOFT FK 1054 CE	Установка хімоводопідготовки $Q=1,3\text{ м}^3/\text{г.}$	1	
K 6	"ELBI" CV-500	Бак запасу води $V=500\text{ л}$	1	
K 7	"ELBI" ERCE 500	Розширювальний бак $V=500\text{ л}$	1	
K 8	"ELBI" ERCE 80	Мембранний розширювальний бак $V=80\text{ л}$	2	
K 9	"ELBI" AC 25 CE	Мембранний розширювальний бак $V=25\text{ л}$	1	
K 10		Грязьовик абонентський Тип 4 $\phi 100\text{ мм}$	1	
K 11	7BIS	Клапан редукційний 1/2 "	2	
K 12	"РоВоГаз" LQM-III "РоВоГаз" MW130-65-NC	Лічильник теплової енергії в комплекті з витратоміром DN65	1	
K 13	"РоВоГаз" JS -1,5	Лічильник крильчатий для води $Q=1,5\text{ м}^3/\text{ч}$	1	
K 14	ТП 4В-77-11-11	Теплообмінник пластинчатий 600кВт	1	
K 15	ESBE 3F65	Клапан змішувачій 3-ходовий фланцевий,	1	Електропривод

Кваліфікаційна робота магістра

Дослідження процесів горіння паливних пелет у котлах твердопаливної котельні з механічною подачею палива

Зм.	Кільк.	Аркуш.	№ док.	Підпис	Дата
Розробив	Курчак	Курчак			
Керівник	Пасічник	Пасічник			
Зав. кафедр	Кіриченко	Кіриченко			

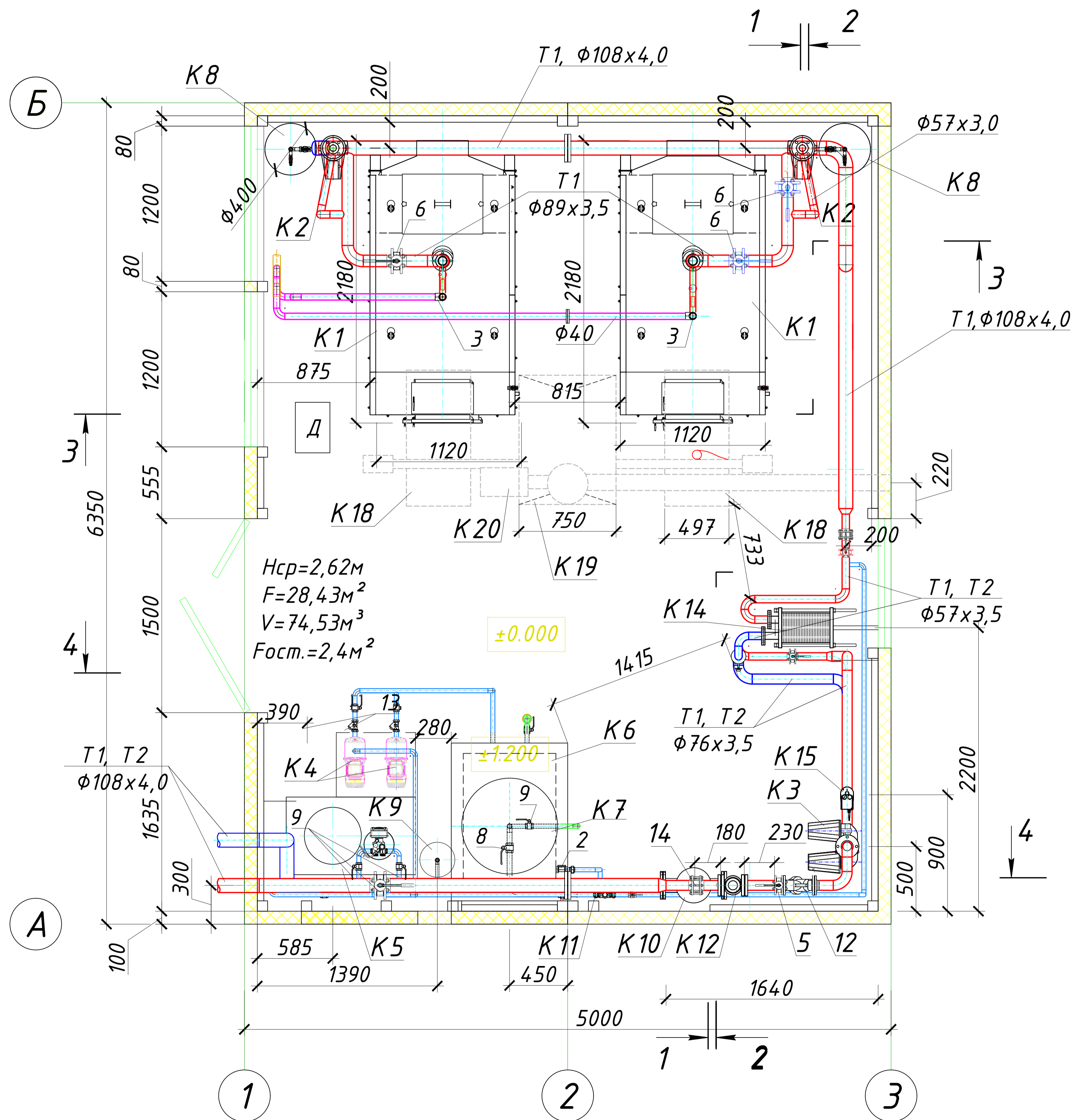
Стадія: Аркуш Аркушів

Котельня твердопаливна КМР 1 5

Принципова теплова схема КНУБА

План на відм. 0.000. Прокладка трубопроводів

М 1:100



Експлікація устаткування

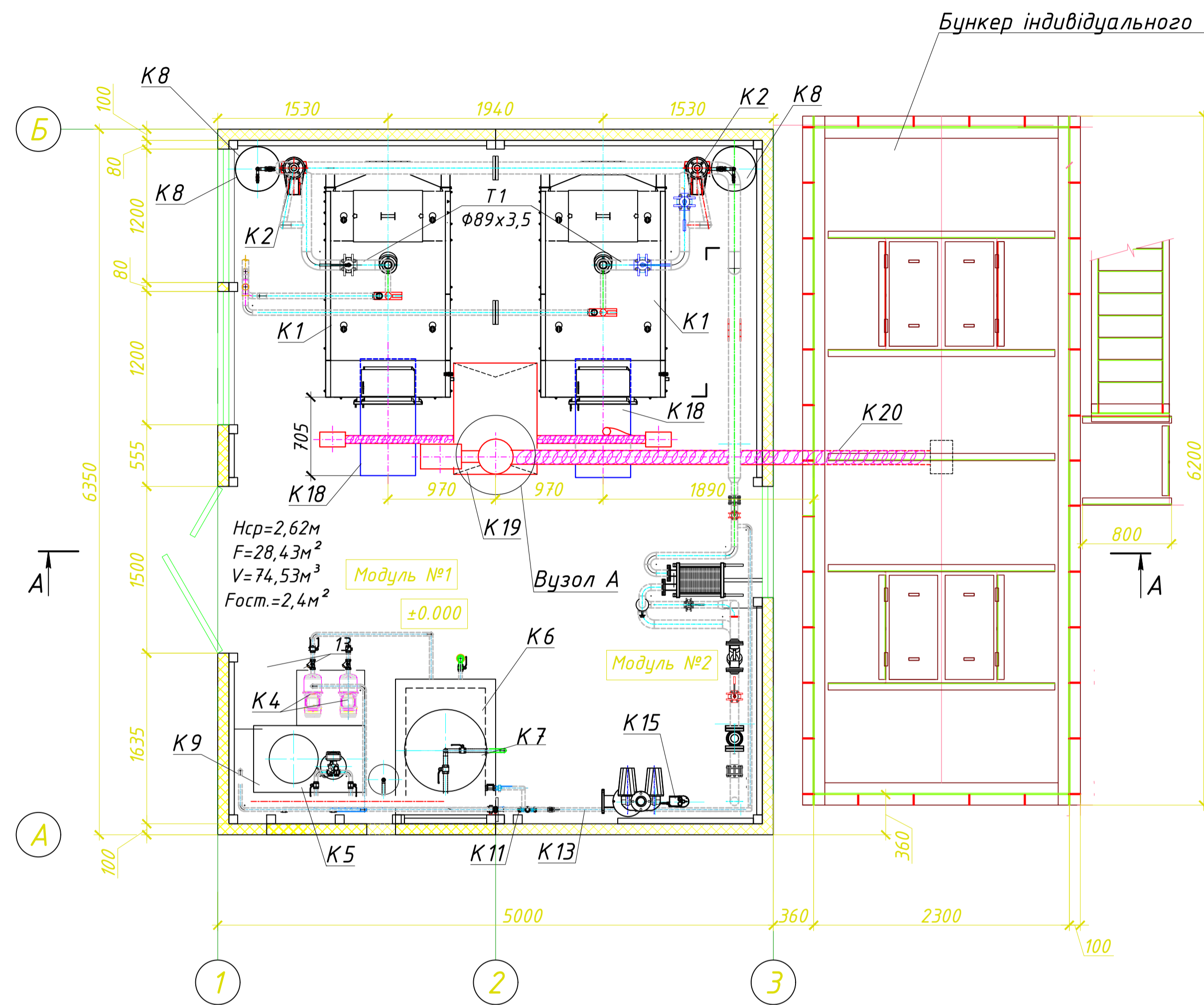
№поз.	Позначення	Найменування	Кіл.
К 1	Marten Industrial MIT300	Котел водогрійний твердопаливний сталевий теплопродуктивністю $Q=300\text{кВт}$	2
К 2	GHN basic 50-120F	Насос циркуляційний котлового контуру $G=14\text{м}^3/\text{год.}$; $H=8\text{ м}$; $N\text{ ел.дв.}=1,02\text{ кВт}$	2
К 3	CLD 65-160/2D	Насос мережевої води системи $G=28\text{ м}^3/\text{год.}$; $H=15\text{ м.вод.ст.}$; $N\text{ел.дв.}=3\text{кВт}$	1
К 4	Saer KF1	Насос підживлювальний $G=1,2\text{ м}^3/\text{год.}$; $H=27\text{ м.вод.ст.}$; $N\text{ ел.дв.}=0,22\text{ кВт}$;	2
К 5	ECOSOFT FK 1054 CE	Установка хімводопідготовки $Q=1,3\text{ м}^3/\text{г.}$	1
К 6	"ELBI" CV-500	Бак запасу води $V=500\text{ л}$	1
К 7	"ELBI" ERCE 500	Розширювальний бак $V=500\text{ л}$	
К 8	"ELBI" ERCE 80	Мембранний розширювальний бак $V=80\text{ л}$	2
К 9	"ELBI" AC 25 CE	Мембранний розширювальний бак $V=25\text{ л}$	1
К 10		Грязьовик абонентський Тип 4 $\phi 100\text{ мм}$	1
К 11	7BIS	Клапан редукційний 1/2 "	2
К 12	"PoWoGaz" LQM-III "PoWoGaz" MW130-65-NC	Лічильник теплової енергії в комплекті з витратоміром Dn65	1
К 13	"PoWoGaz" JS -1,5	Лічильник крильчатий для води $Q=1,5\text{ м}^3/\text{ч}$	1
К 14	ТП 4В-77-11-11	Теплообмінник пластинчатий 600кВт	1
К 15	ESBE 3F65	Клапан змішувачий 3-ходовий фланцевий,	1

Розрахункові теплові потоки

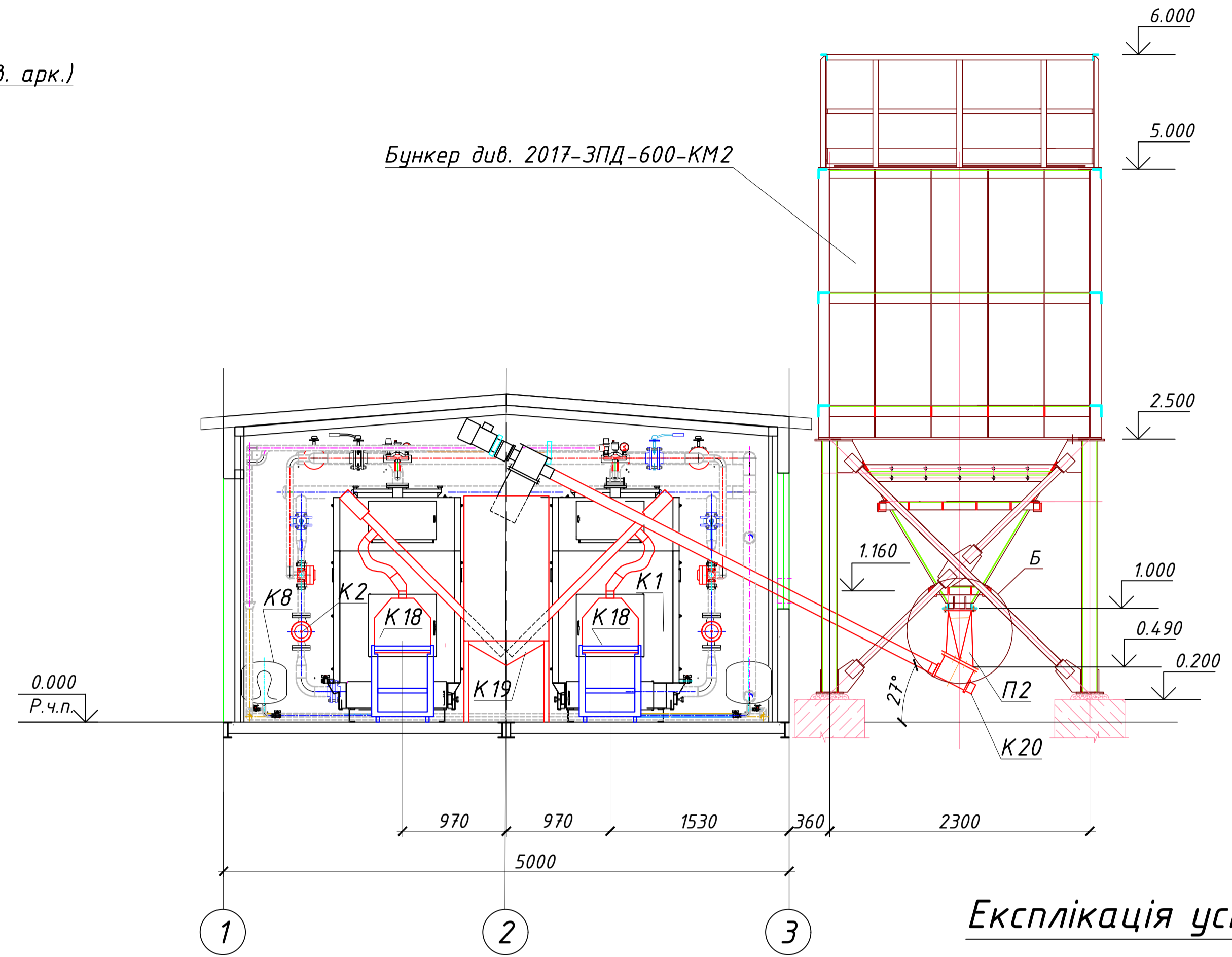
Найменування споживача	Розрахункові теплові потоки, кВт				Всього
	Опалення	Вентиляція	Гаряче водопостачання	Технолог. потреби	
Зовнішні споживачі	595,0	-	-	-	595,0
Опалення котельні	5,0	-	-	-	5,0
Всього:	600,0	-	-	-	600,0
Встановлена потужність котельні	600,0				600,0

Кваліфікаційна робота магістра				
Дослідження процесів горіння паливних пелет у котлах твердопаливної котельні з механічною подачею палива				
Зм.	Кільк.	Аркушів док.	Потис	Дата
Розробив	Курчак			
Керував	Пасічник			
Котельня твердопаливна				Стадія
План на відм. 0.000				Аркуш
				Аркушів
				КМР
				2
				-
				КНУБА

План на відм. 0.000. Устаткування паливopодачі



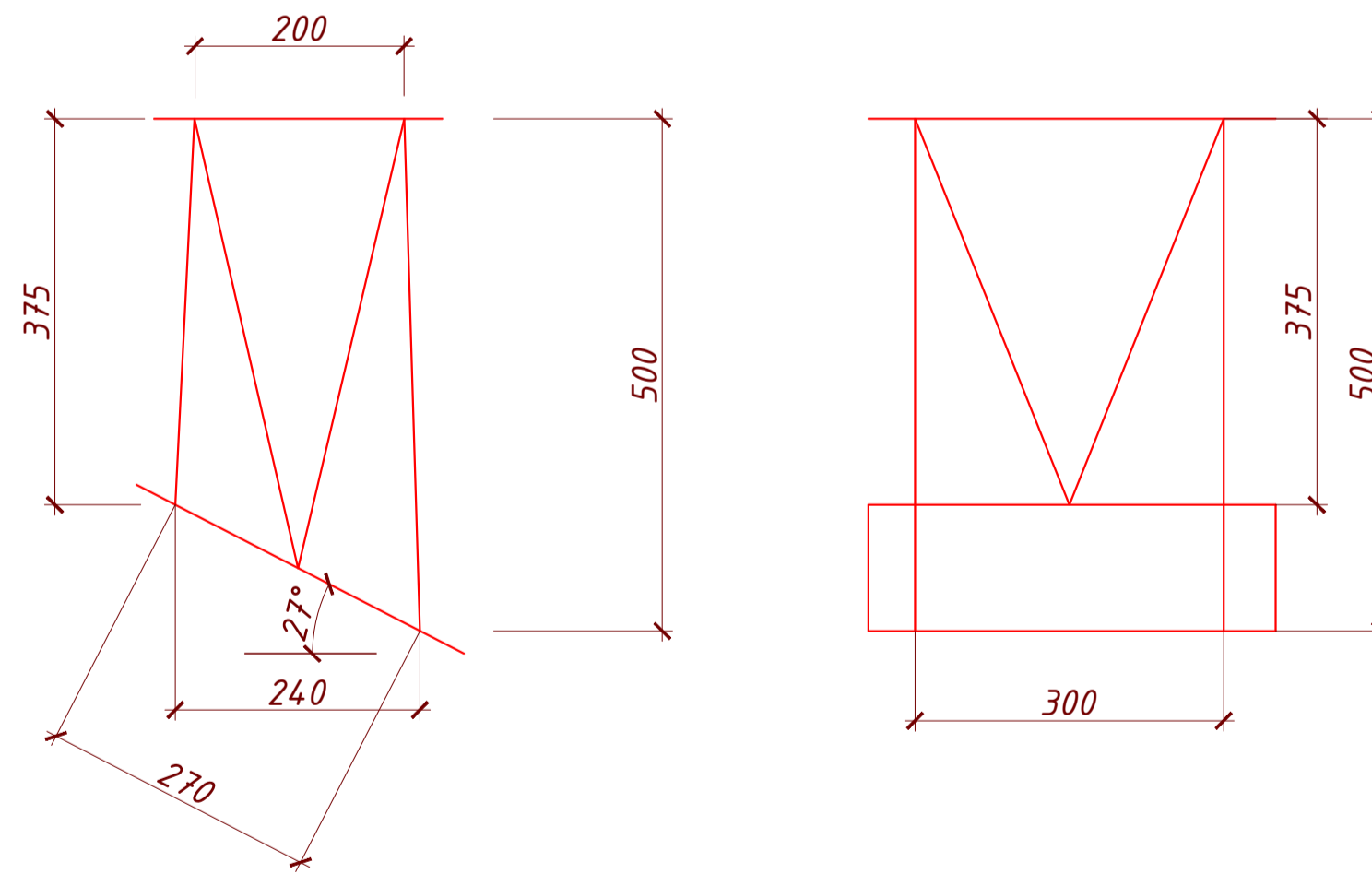
Розріз А-А. Устаткування паливopодачі



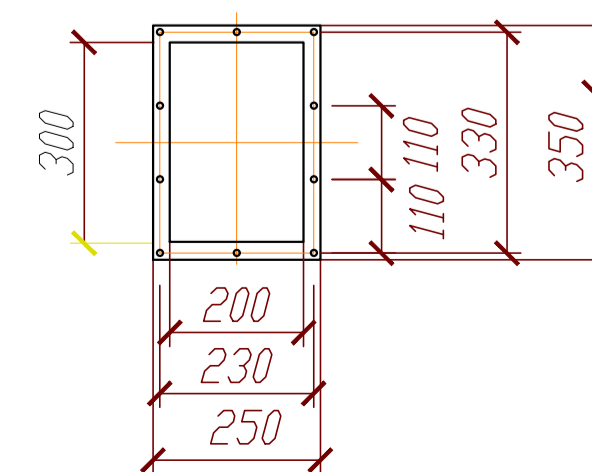
Експлікація устаткування

№поз.	Позначення	Найменування	Кіл.
K 1	Marten Industrial MIT300	Котел водогрійний твердопаливний сталевий теплопродуктивністю Q=300кВт	2
K 2	GHN basic 50-120F	Насос циркуляційний котлового контуру G=14м³/год.; H=8 м; N ел.дв.=1,02 кВт	
K 3	CLD 65-160/2D	Насос мережевої води системи G=28 м³/год.; H=15 м.вод.ст; Нел.дв.=3кВт	1
K 4	Saer KF1	Насос підживлювальний G=1,2 м³/год.; H=27 м.вод.ст; N ел.дв.=0,22 кВт;	2
K 5	ECOSOFT FK 1054 CE	Установка хімводопідготовки Q=1,3 м³/г,	1
K 6	"ELBI" CV-500	Бак запасу води V=500 л	1
K 7	"ELBI" ERCE 500	Розширювальний бак V=500 л	
K 8	"ELBI" ERCE 80	Мембранний розширювальний бак V=80 л	2
K 9	"ELBI" AC 25 CE	Мембранний розширювальний бак V=25 л	1
K 10		Грязьовик абонентський Тип 4 Ф100 мм	1
K 11	7BIS	Клапан редукційний 1/2 "	2
K 12	"PoWoGaz" LQM-III "PoWoGaz" MW130-65-NC	Лічильник теплової енергії в комплекті з 2-ма витратомірами Dn65	1
K 13	"PoWoGaz" JS -1,5	Лічильник крильчатий для води Q=1,5 м³/ч	1
K 14	ТП 4В-77-11-11	Теплообмінник пластинчатий 600кВт	1
K 15	ESBE 3F65	Клапан змішувачий 3-ходовий фланцевий, Ду65, Kvs = 60	1
K 16	Ц-11-630x1УП	Циклон для очистки димових газів D = 630; Ду = 372;	2
K 17	Д-3,5М	Димосос, виконання 1 L=1500 м³/год, dP=750 Па, n=1420 об/хв	2
K 18	OXI Ceratic+300	Пальник пелетний факельний Pтах=350кВт, Lпр.зг. = 1010 м³/год	2
K 19	Індивідуальне виг.	Бункер запасу пелет 1м³	1
K 20	"Витязь"	Конвеєр пружинний Ду90, l = 4м, B = 15 м³/год з електричним двигуном N=15кВт, U=380В	1

Вузол Б. Воронка



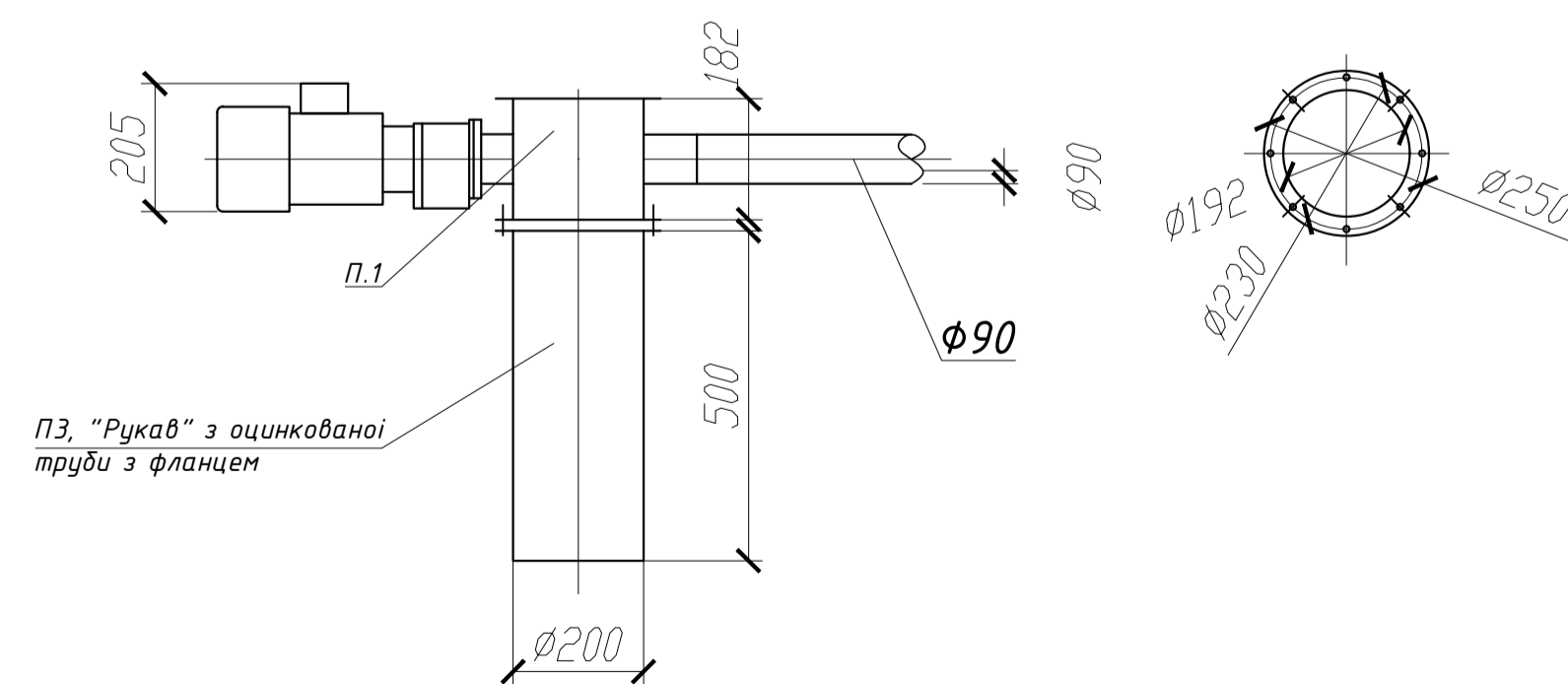
Фланець приєднання воронки до бункера.



Вузол "А"

Вузол з'єднання шнека і "рукава".

Фланець приєднання шнека і "рукава".



1. Бункер запасу пелет виконати з листової сталі товщиною не менше 2мм.
2. Передбачити кришку для закривання бункеру.
3. Передбачити два отвори для підключення пелетних пальників згідно паспортних даних на пальники.

Кваліфікаційна робота магістра

Дослідження процесів горіння паливних пелет у котлах твердопаливної котельні з механічною подачею палива

Зм.	Кільк.	Аркушів	Док.	Підпис	Дата
Розробив	Курчак				
Керував	Пасічник				
Зав. кафедр	Курчак				

Котельня твердопаливна

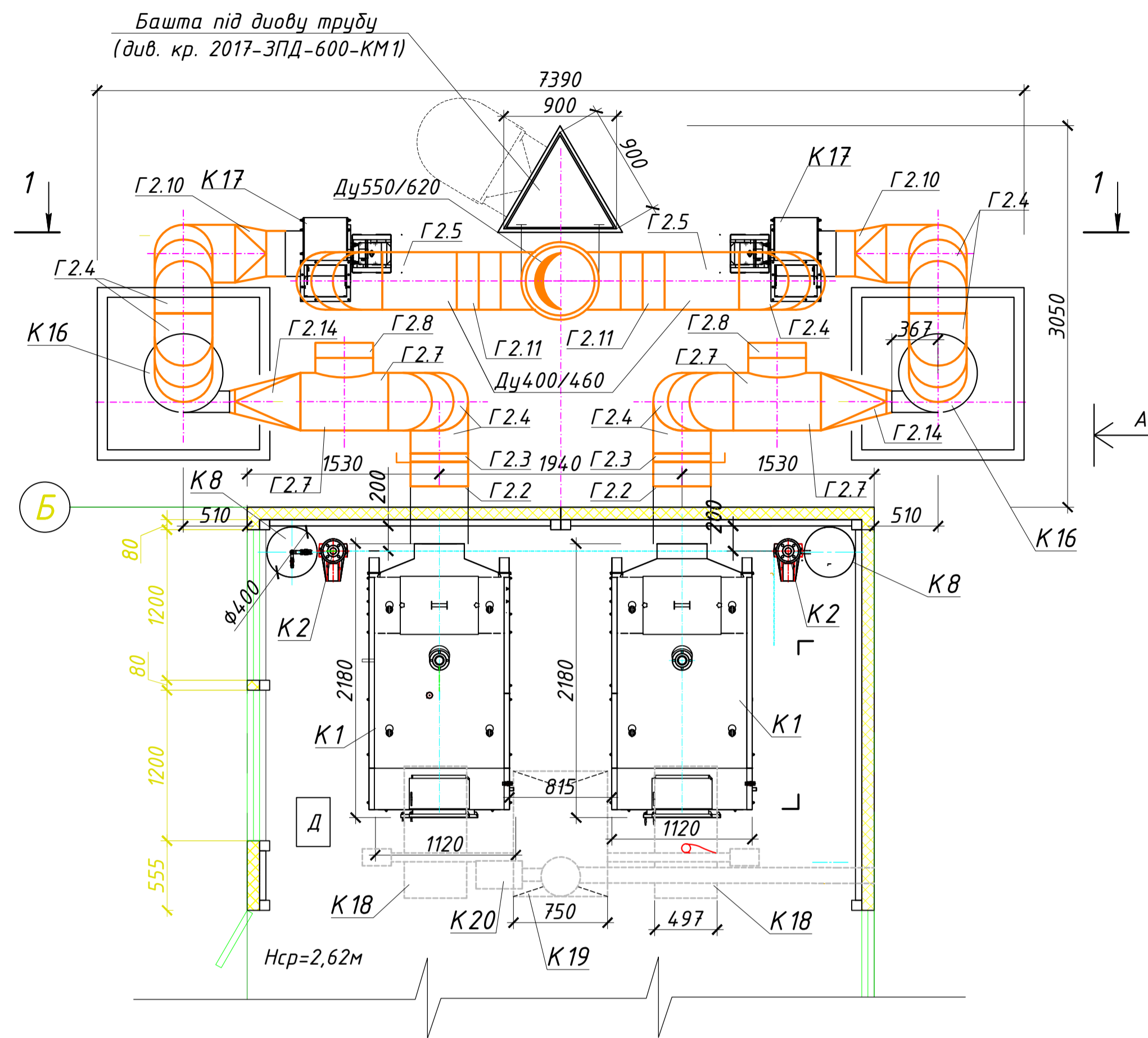
Стадія Аркушів

КМР 4 -

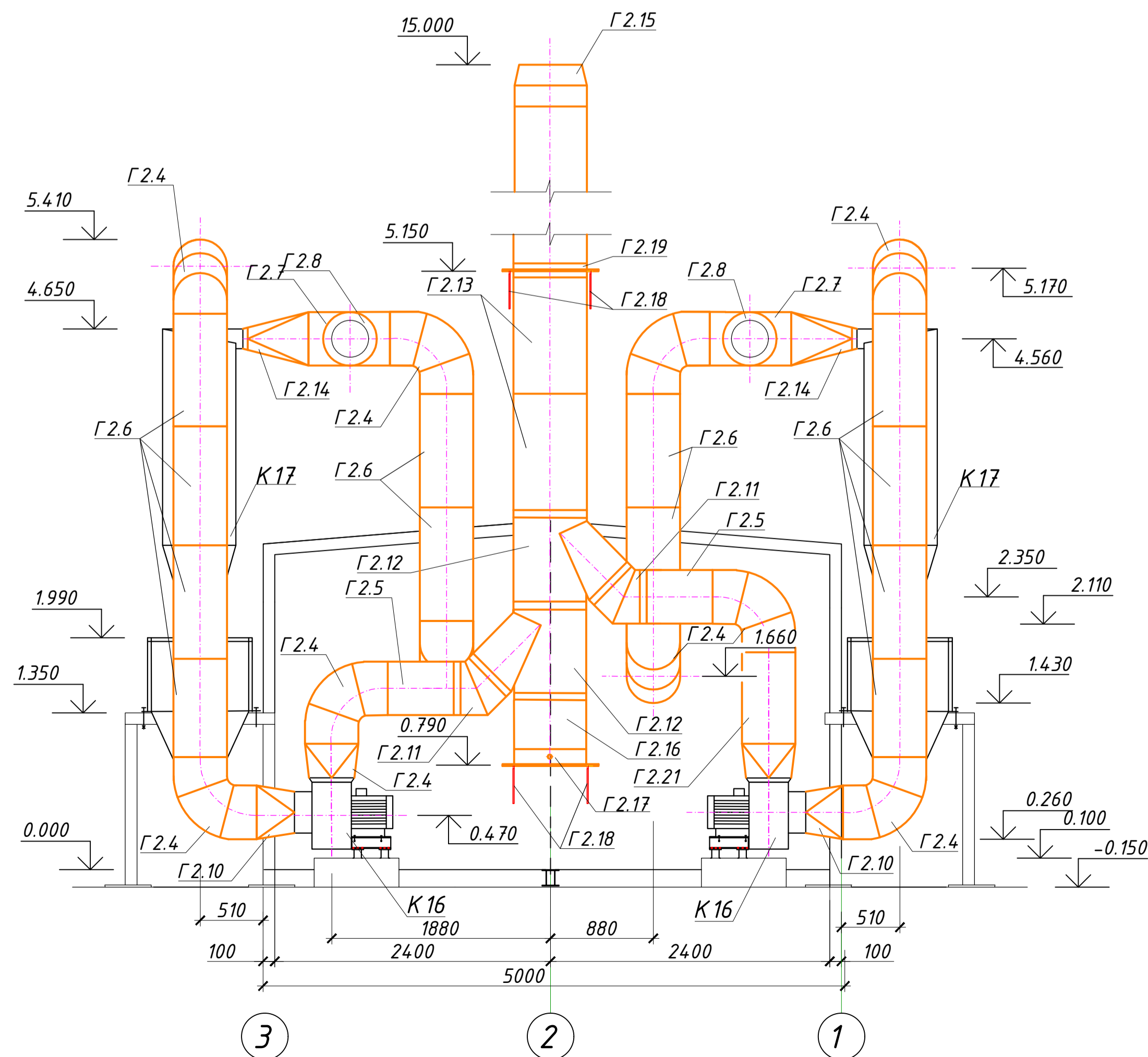
Устаткування паливopодачі

КНУБА

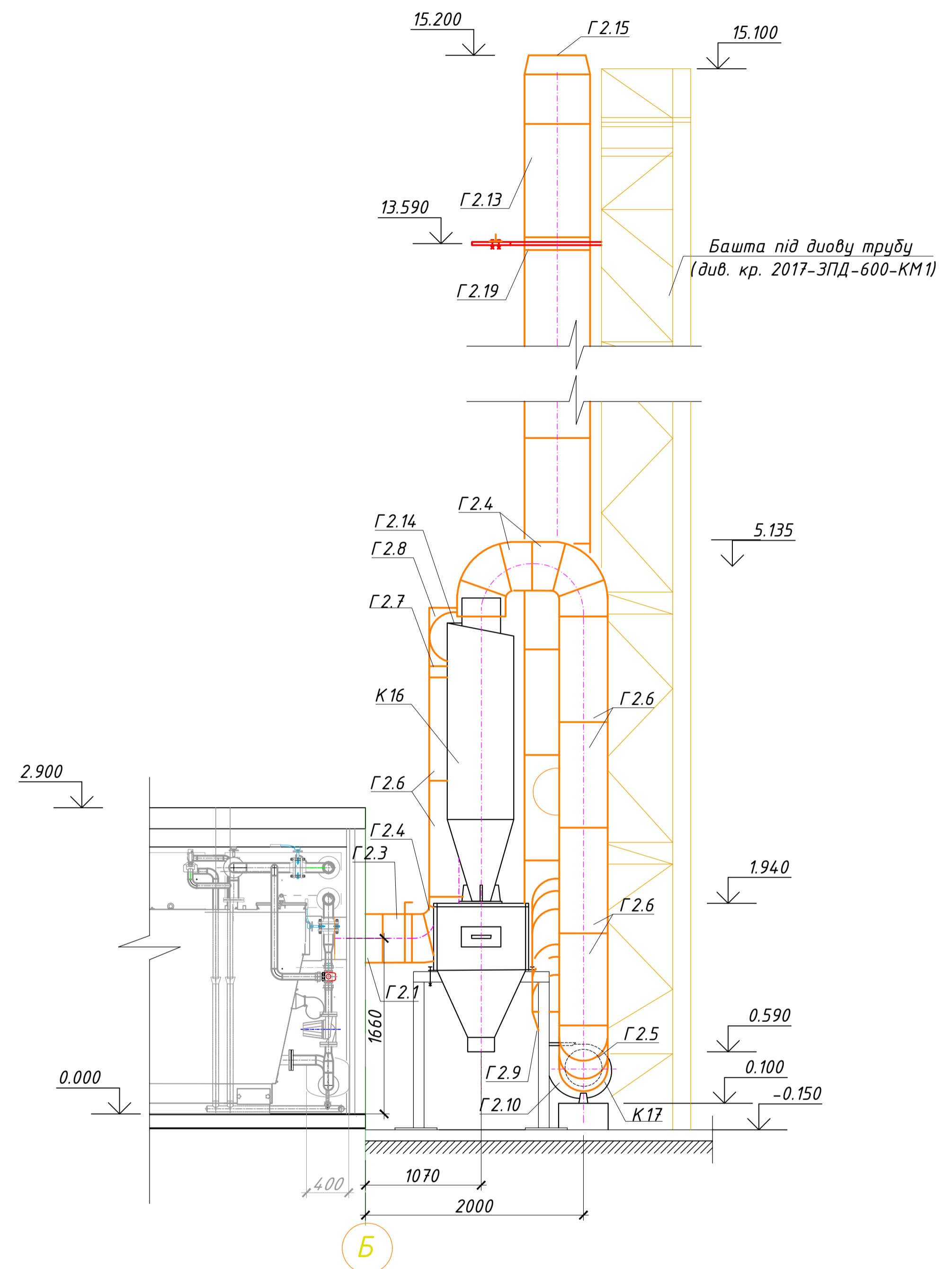
План на відм. 0.000. Димовидалення



Розріз 1-1. Газоходи



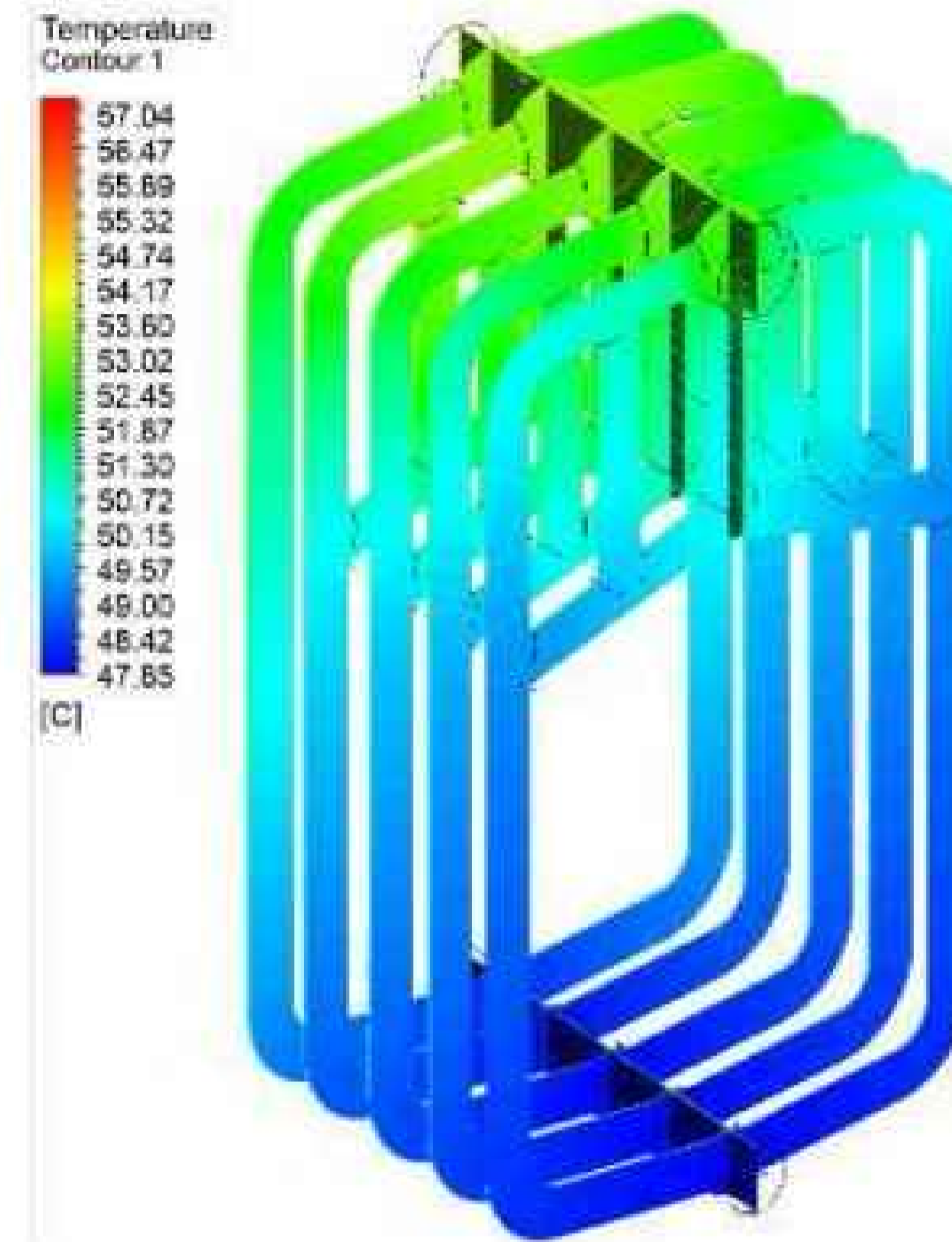
Вид А



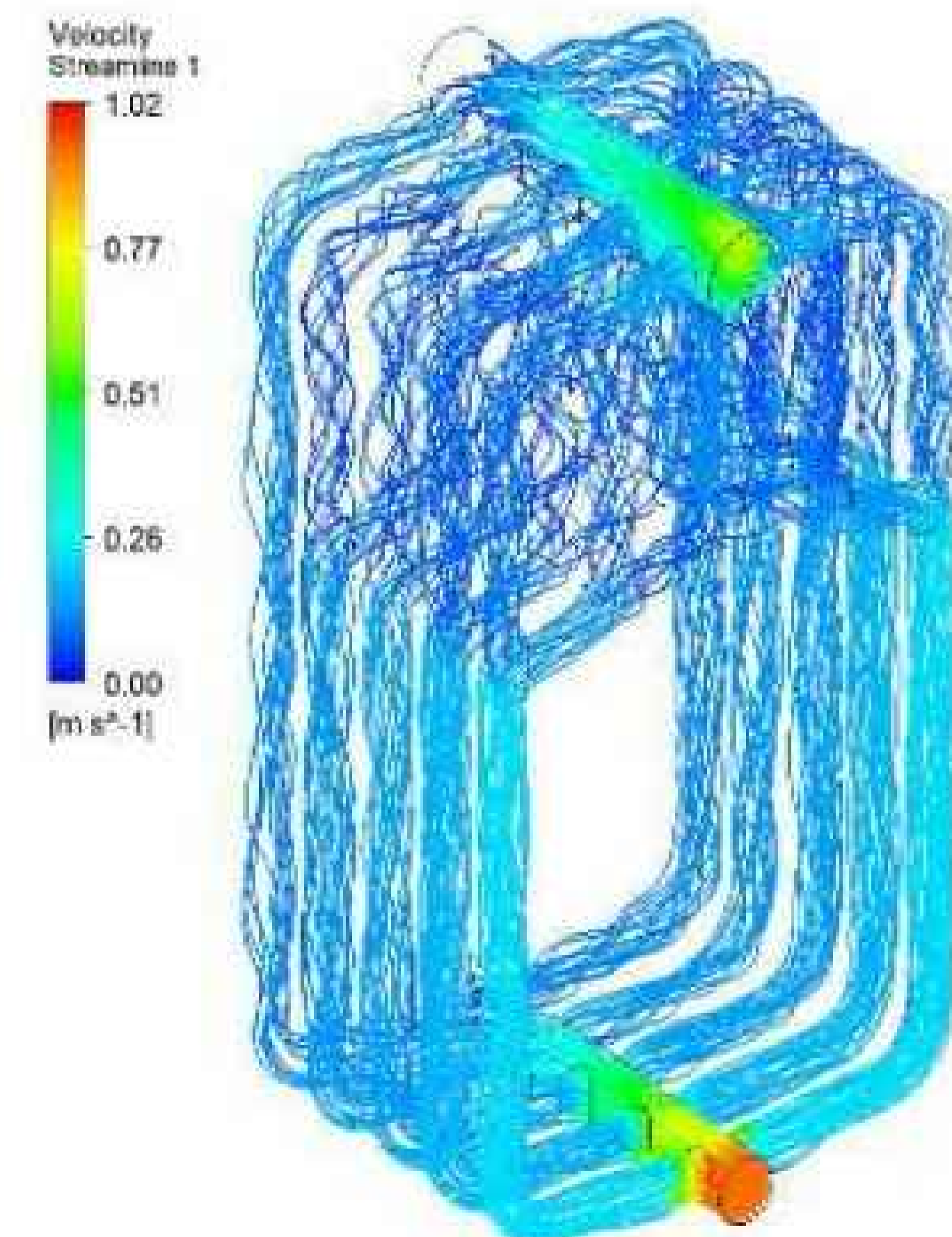
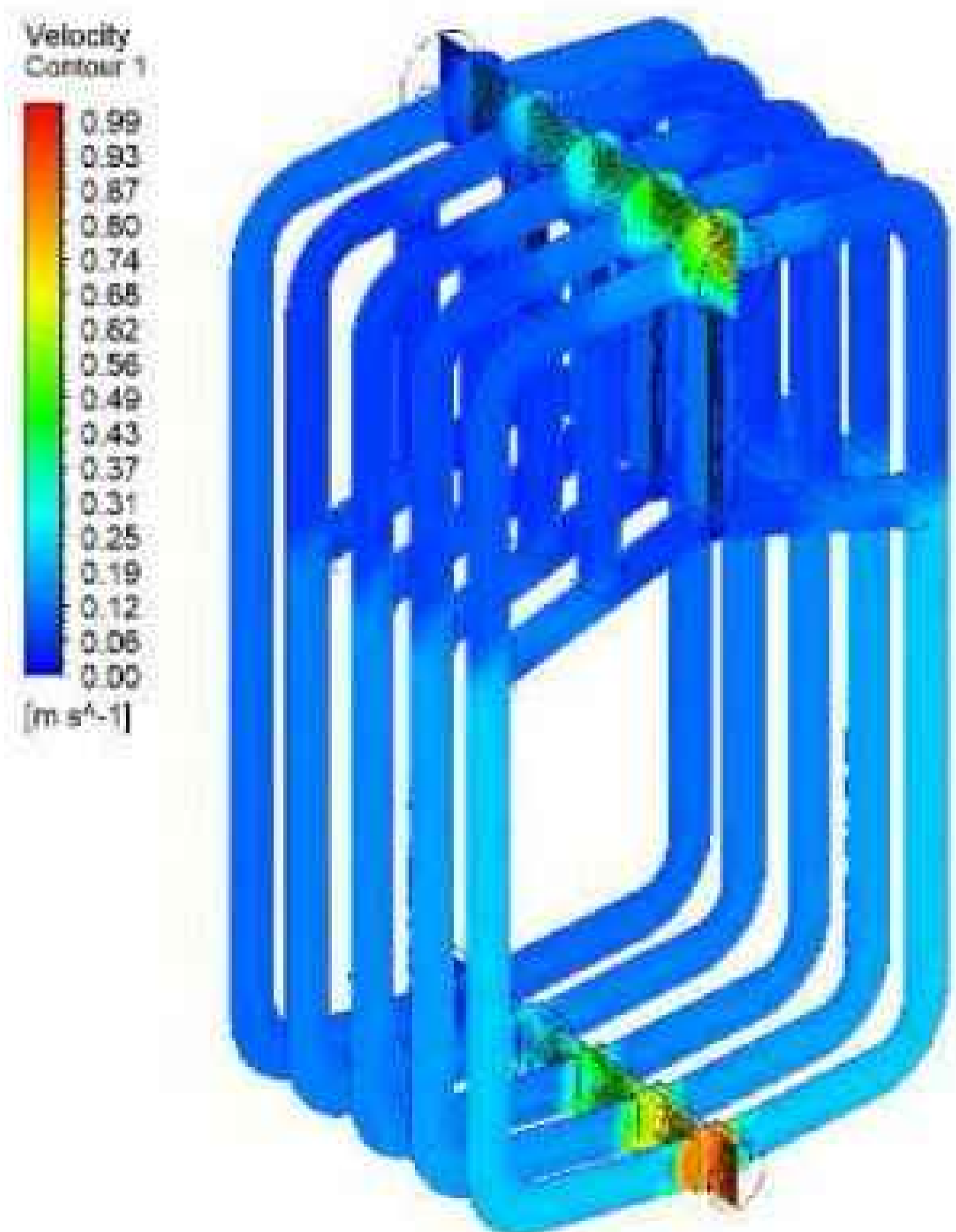
1. Дивитися разом з аркушами 1, 2.
2. Обслуговування прочисток на димоходах виконувати за допомогою переносного майданчика.
3. Опори під газоходи виконати після монтажу газоходів, висоту опор уточнювати по місту.
4. Фундаменти під мачту, обладнання та газоходи виконуються в проекті прив'язки котельні, розміри фундаментів визначити розрахунком.

Кваліфікаційна робота магістра				
Дослідження процесів горіння паливних пелет у котлах твердопаливної котельні з механічною подачею палива				
Зм.	Кільк.	Аркушів	Зб. док.	Підпис
Розробник	Куратор	Котельня твердопаливна	Стадія	Аркуш
Керівник	Пасічник	КМР	5	-
Система димовидалення				КНУБА
Зав. кафедр	Кіриченко			

1. Результати моделювання теплогідравлічного стану котла

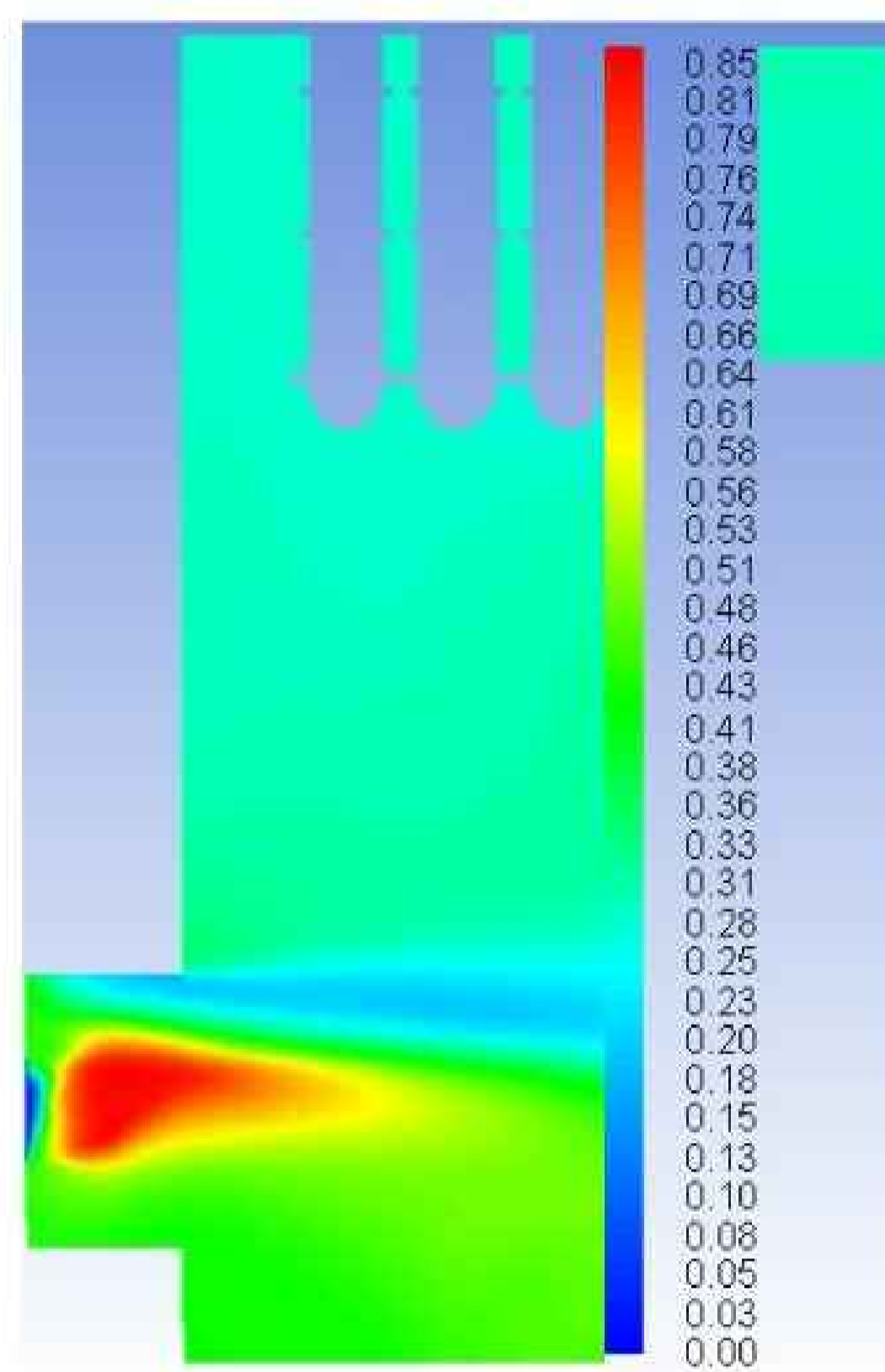


Температура теплоносія

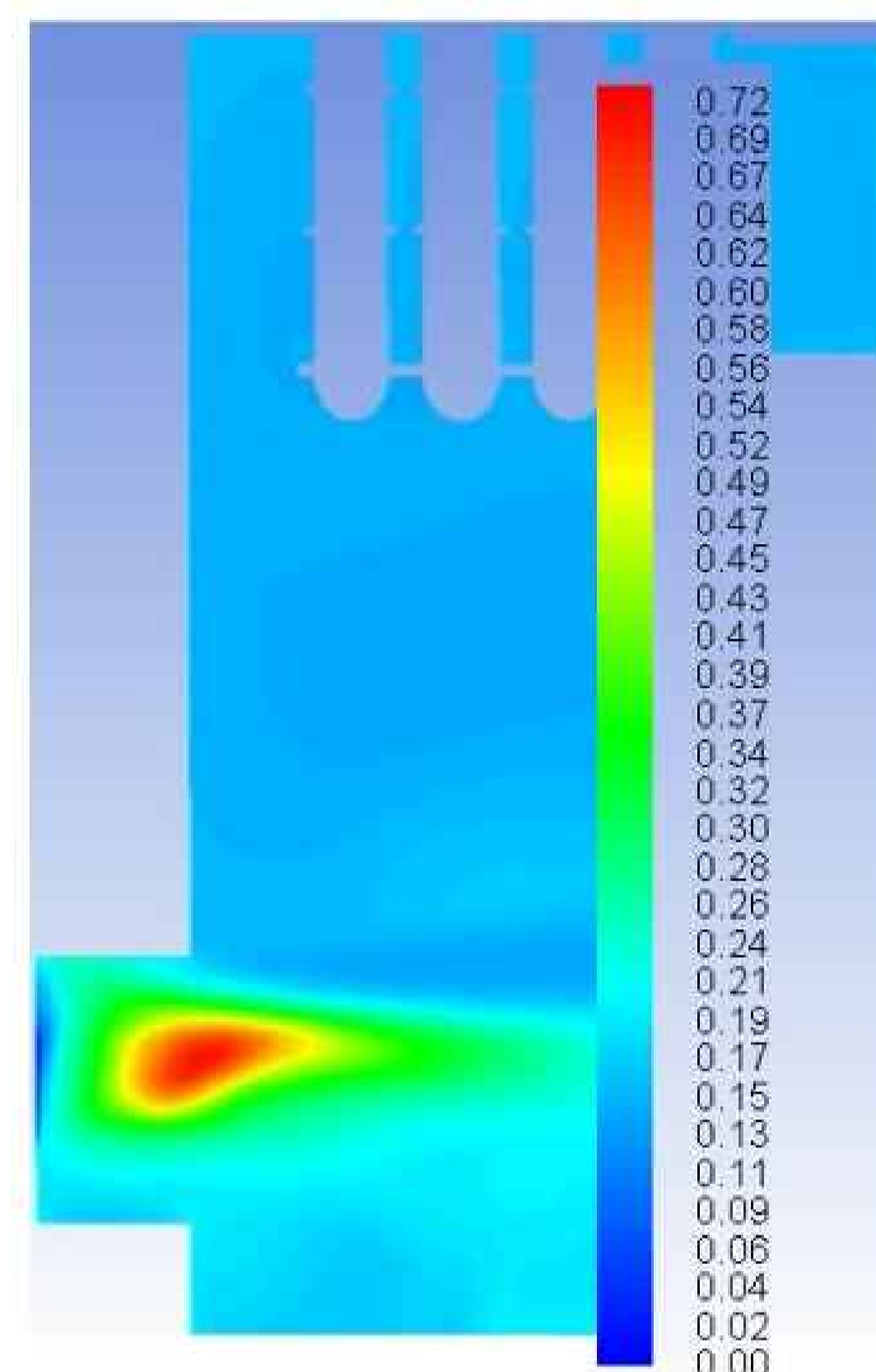


Швидкість теплоносія

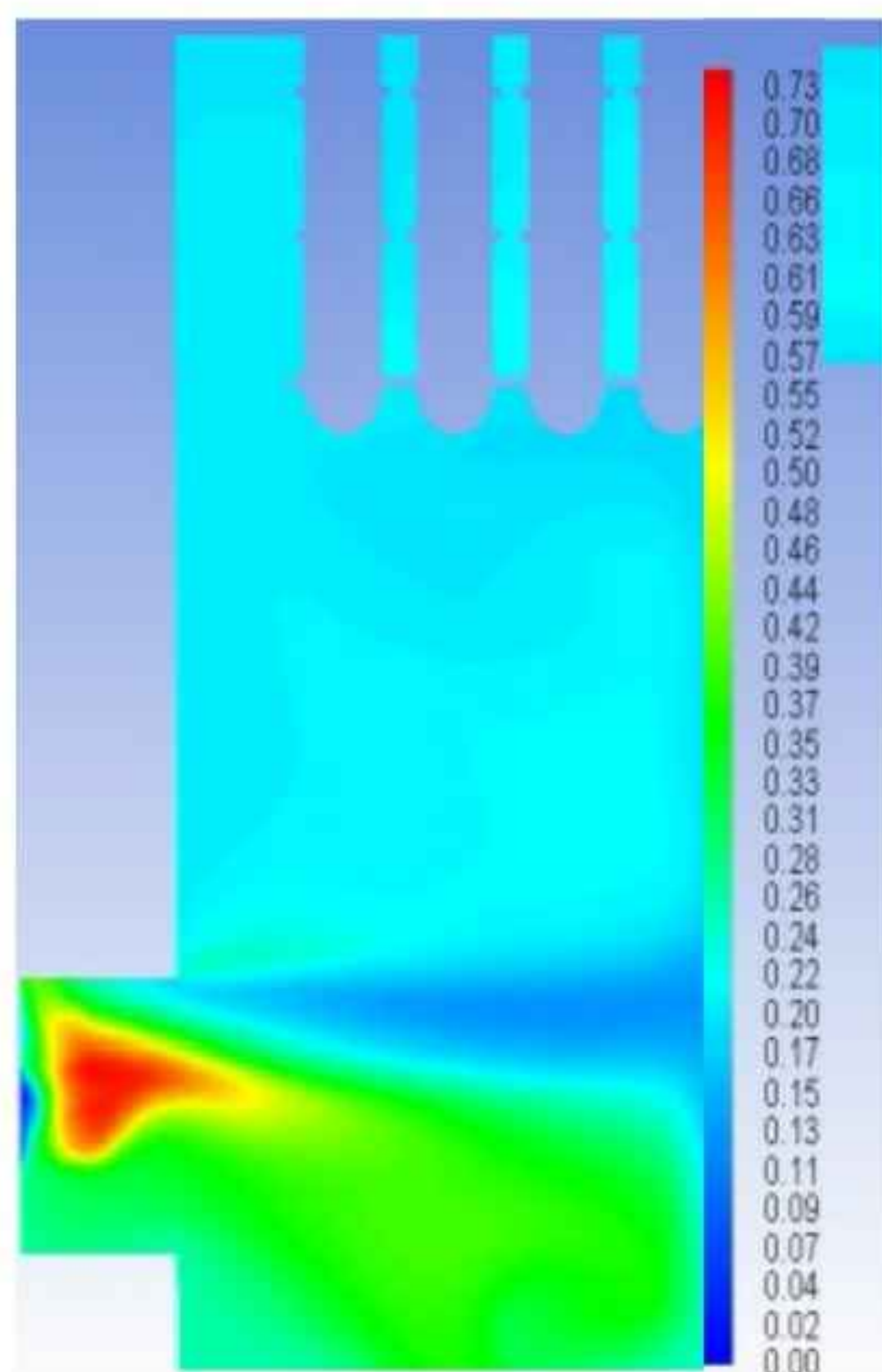
2. Розподіл параметру Mean Mixture Fraction у центральному перетині топкової камери



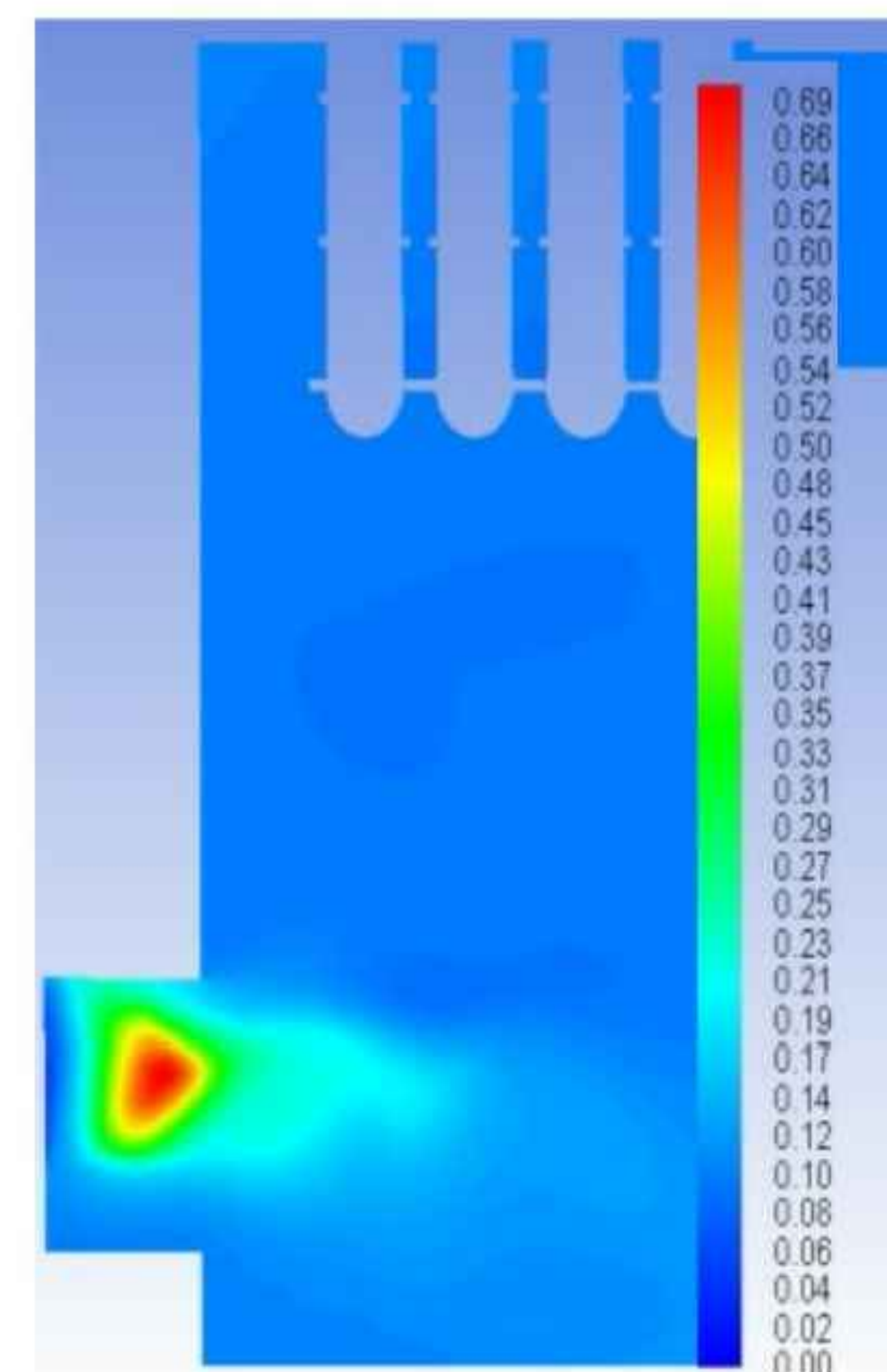
Швидкість повітряного потоку - 3,9 м/с;
Витрата пелет - $72,2 \times 10^{-4}$ кг/с;
Середня швидкість - 2 м/с



Швидкість повітряного потоку - 3,9 м/с;
Витрата пелет - 12×10^{-3} кг/с;
Середня швидкість - 2 м/с

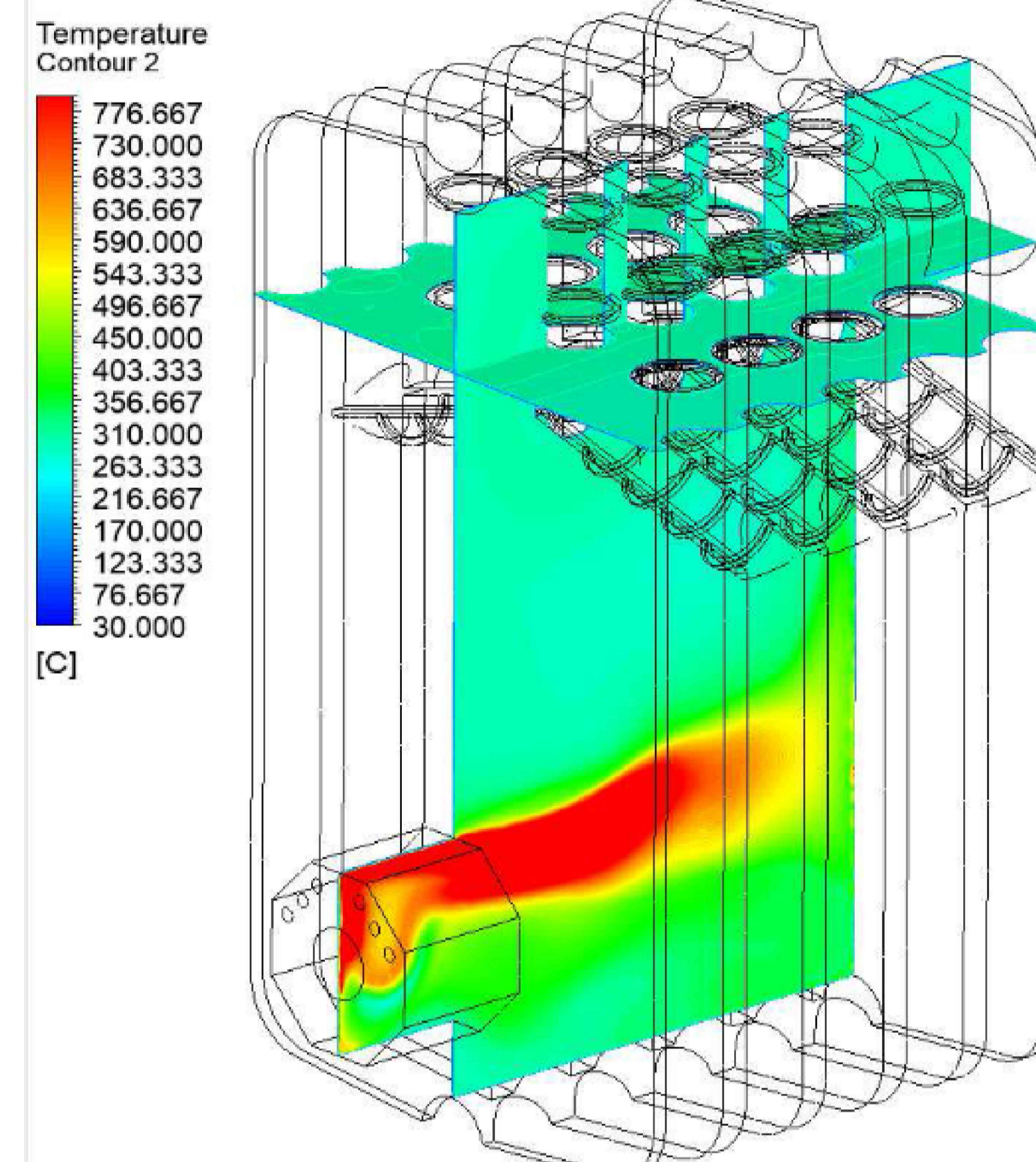


Швидкість повітряного потоку - 9,9 м/с;
Витрата пелет - 12×10^{-3} кг/с;
Середня швидкість - 5 м/с

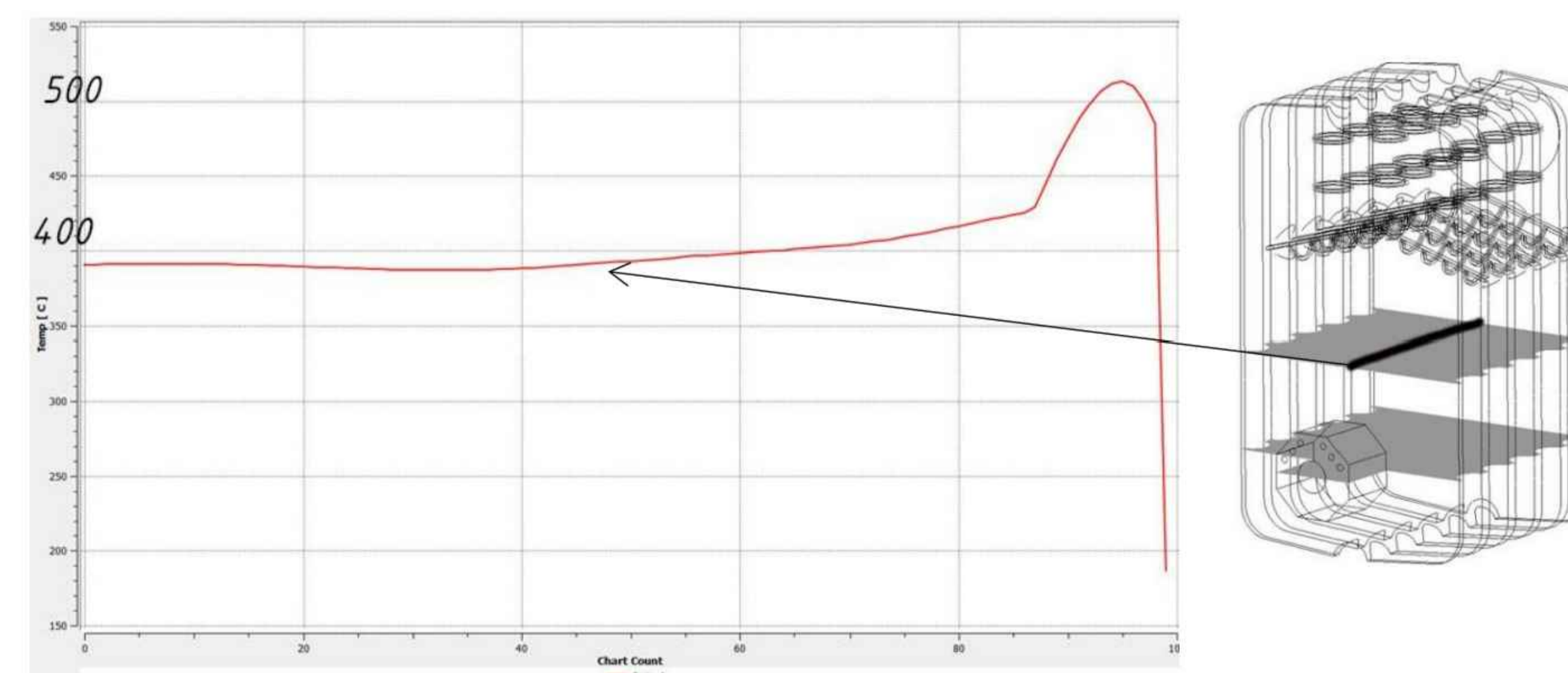


Швидкість повітряного потоку - 9,9 м/с;
Витрата пелет - $72,2 \times 10^{-4}$ кг/с;
Середня швидкість - 2 м/с

Поле температур продуктів горіння деревних пелет

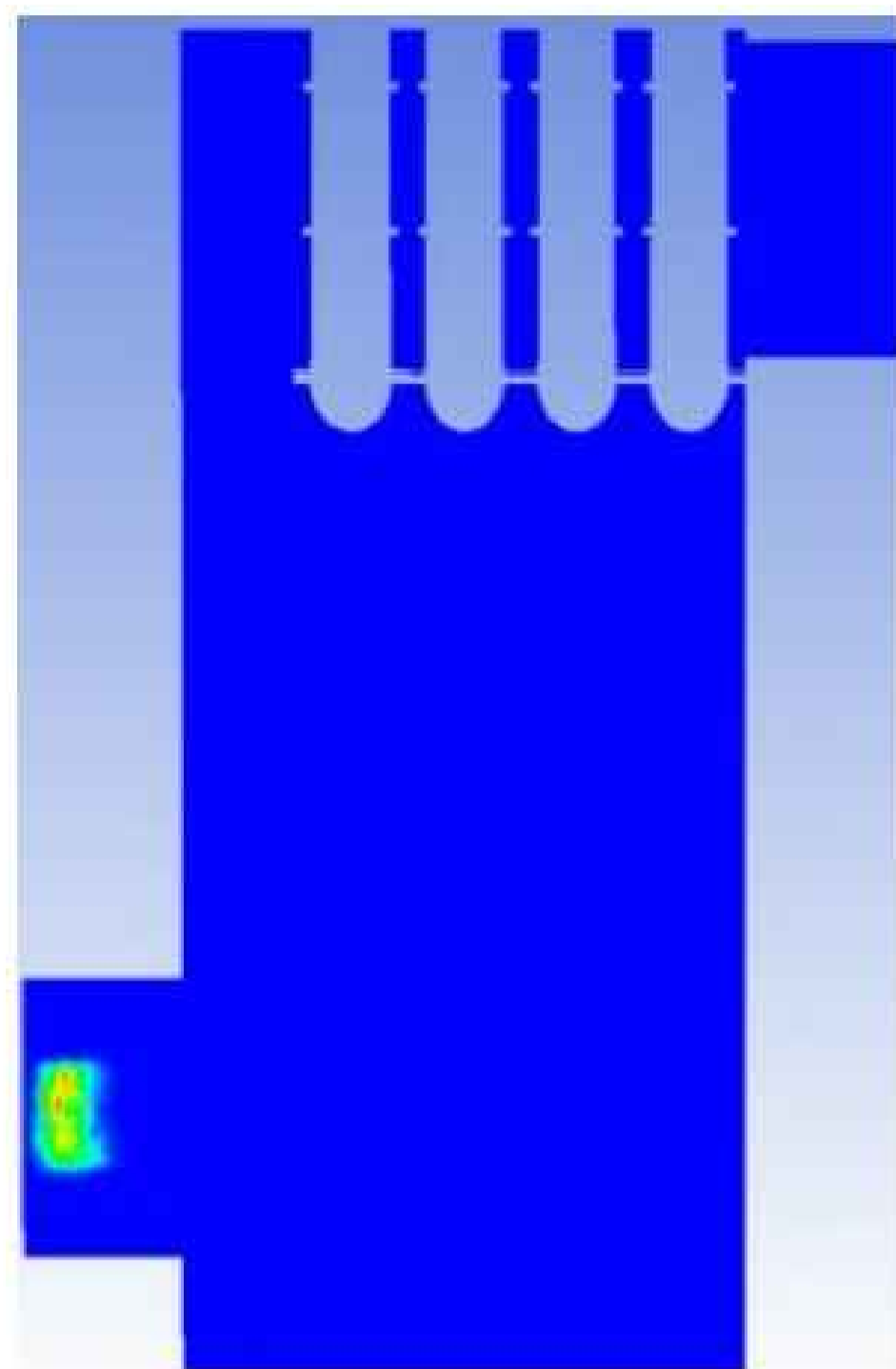


Моделювання температур продуктів спалювання деревних пелет

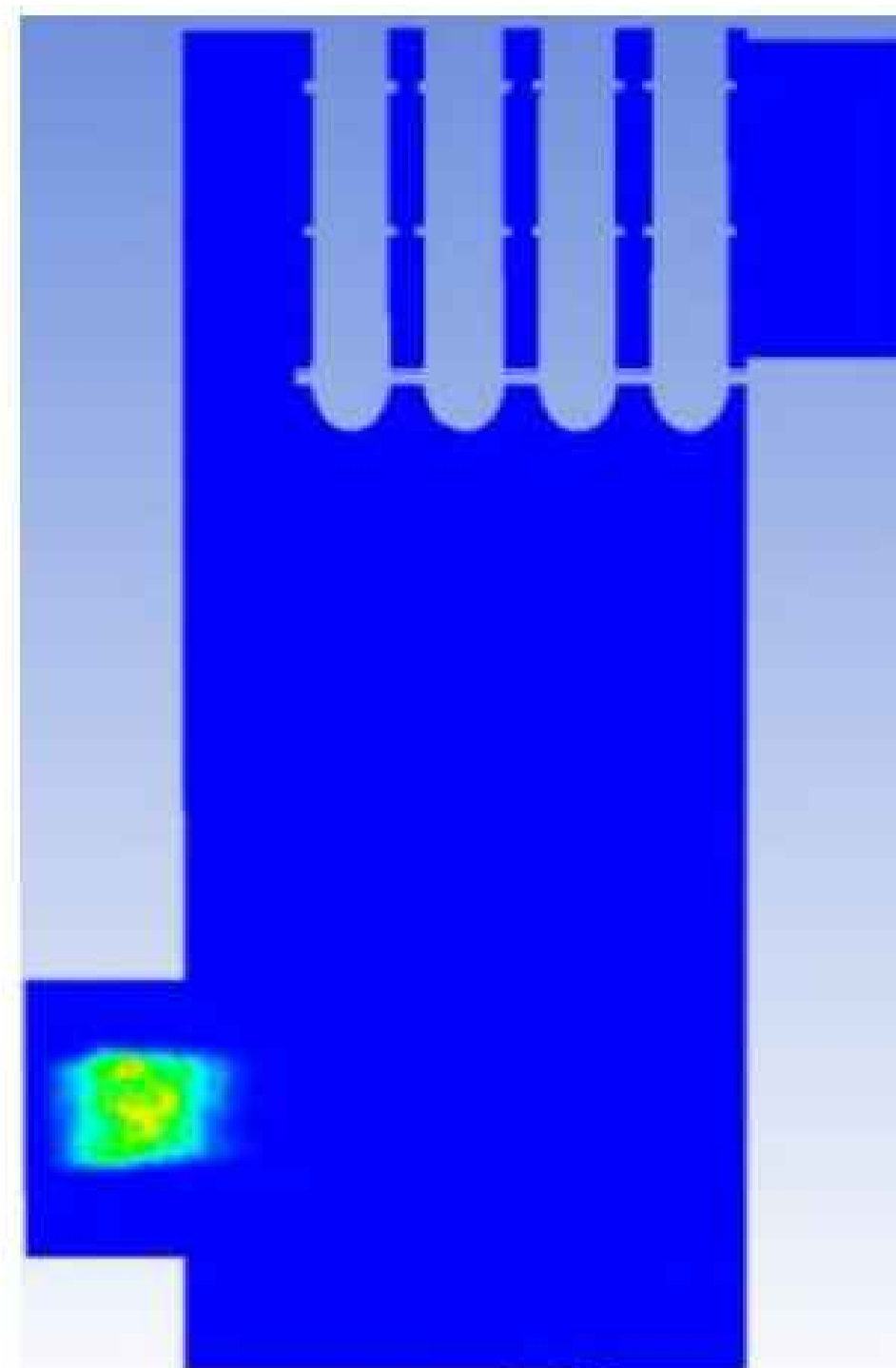


3. Результати моделювання параметрів виходу летючих та ступеню вигорання вуглецю

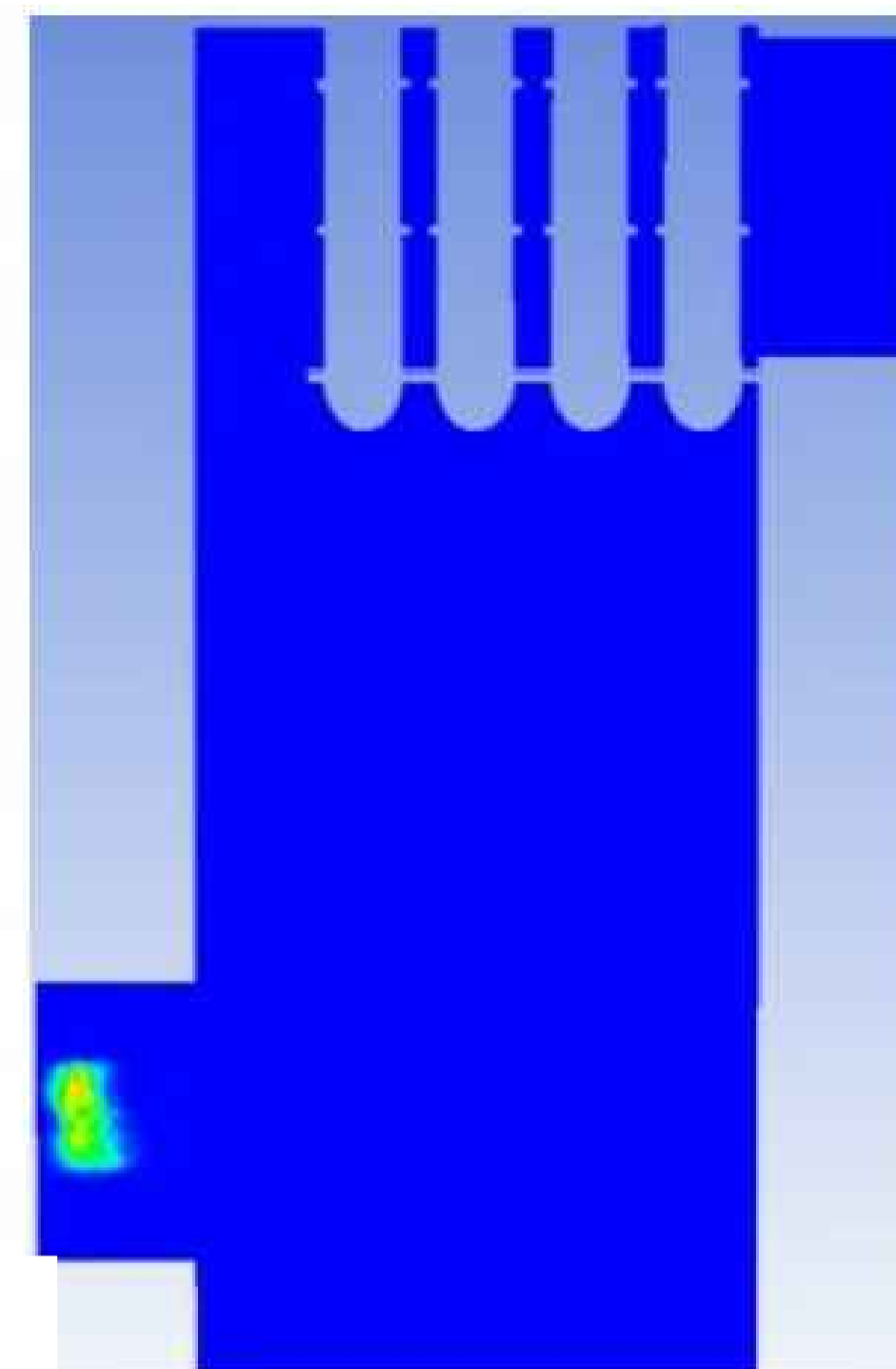
Вихід летючих



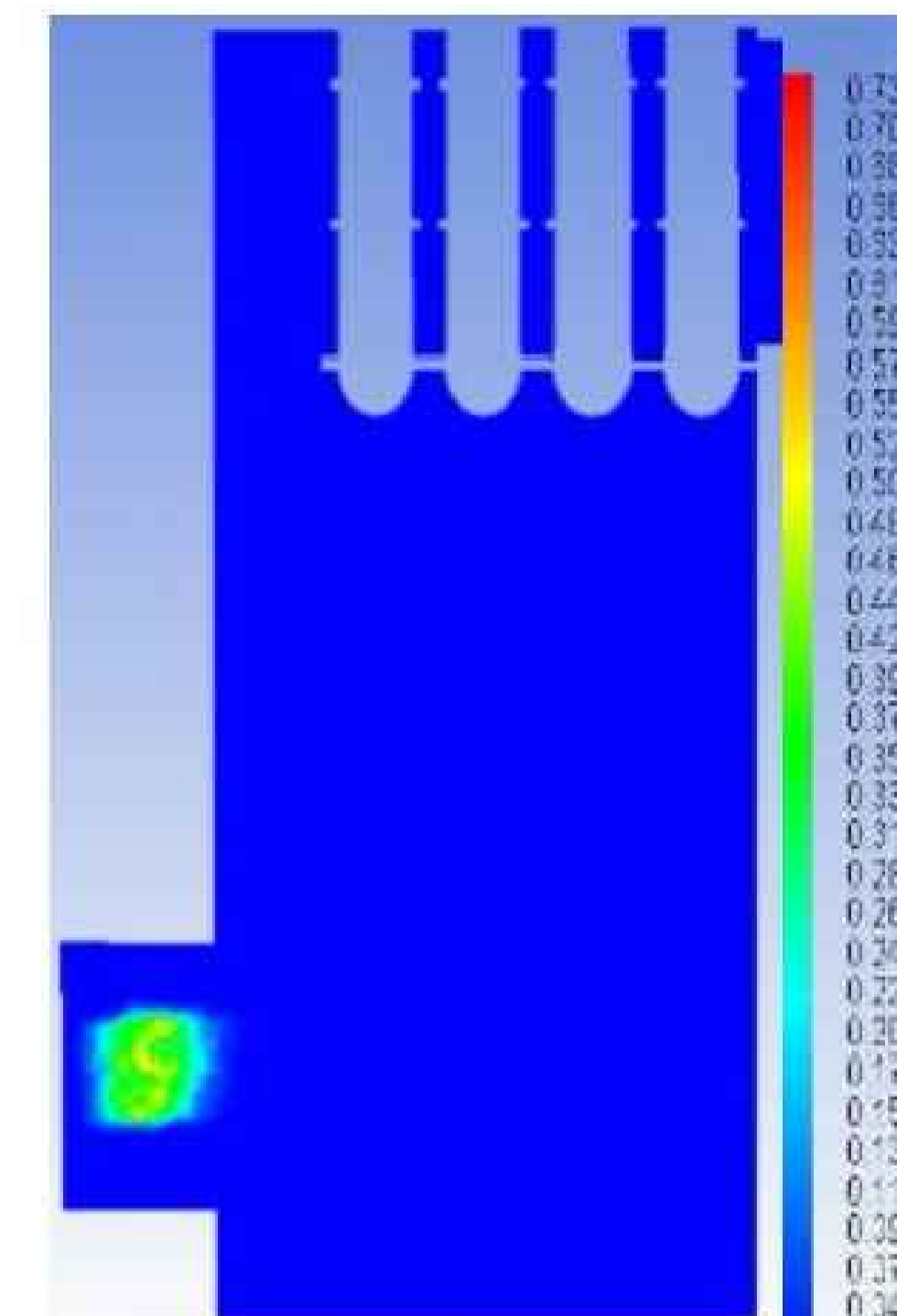
Швидкість повітряного потоку - 3,9 м/с;
Витрата пелет - $72,2 \times 10^{-4}$ кг/с;
Середня швидкість - 2 м/с



Швидкість повітряного потоку - 3,9 м/с;
Витрата пелет - 12×10^{-3} кг/с;
Середня швидкість - 2 м/с

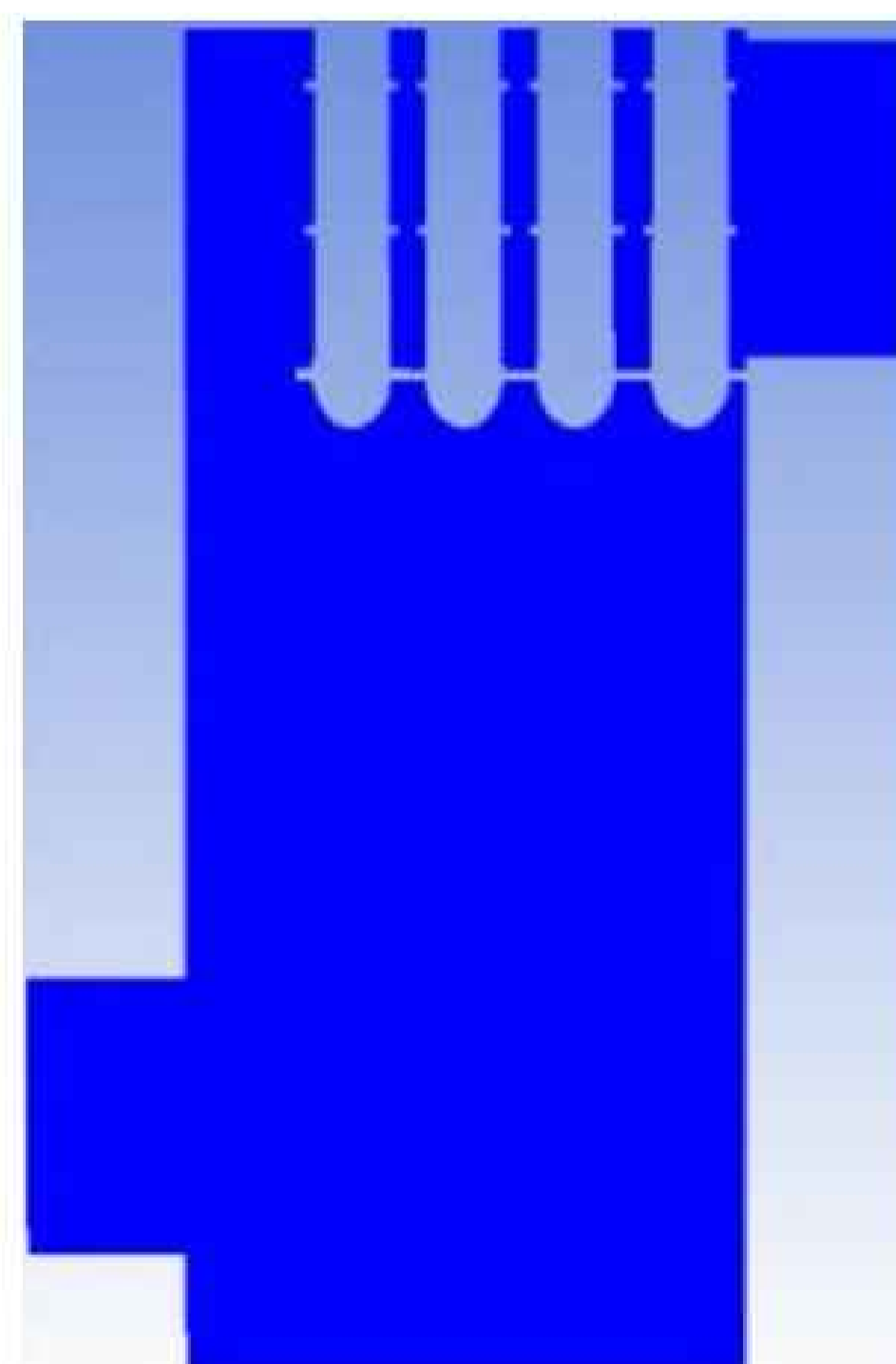


Швидкість повітряного потоку - 9,9 м/с;
Витрата пелет - 12×10^{-3} кг/с;
Середня швидкість - 5 м/с

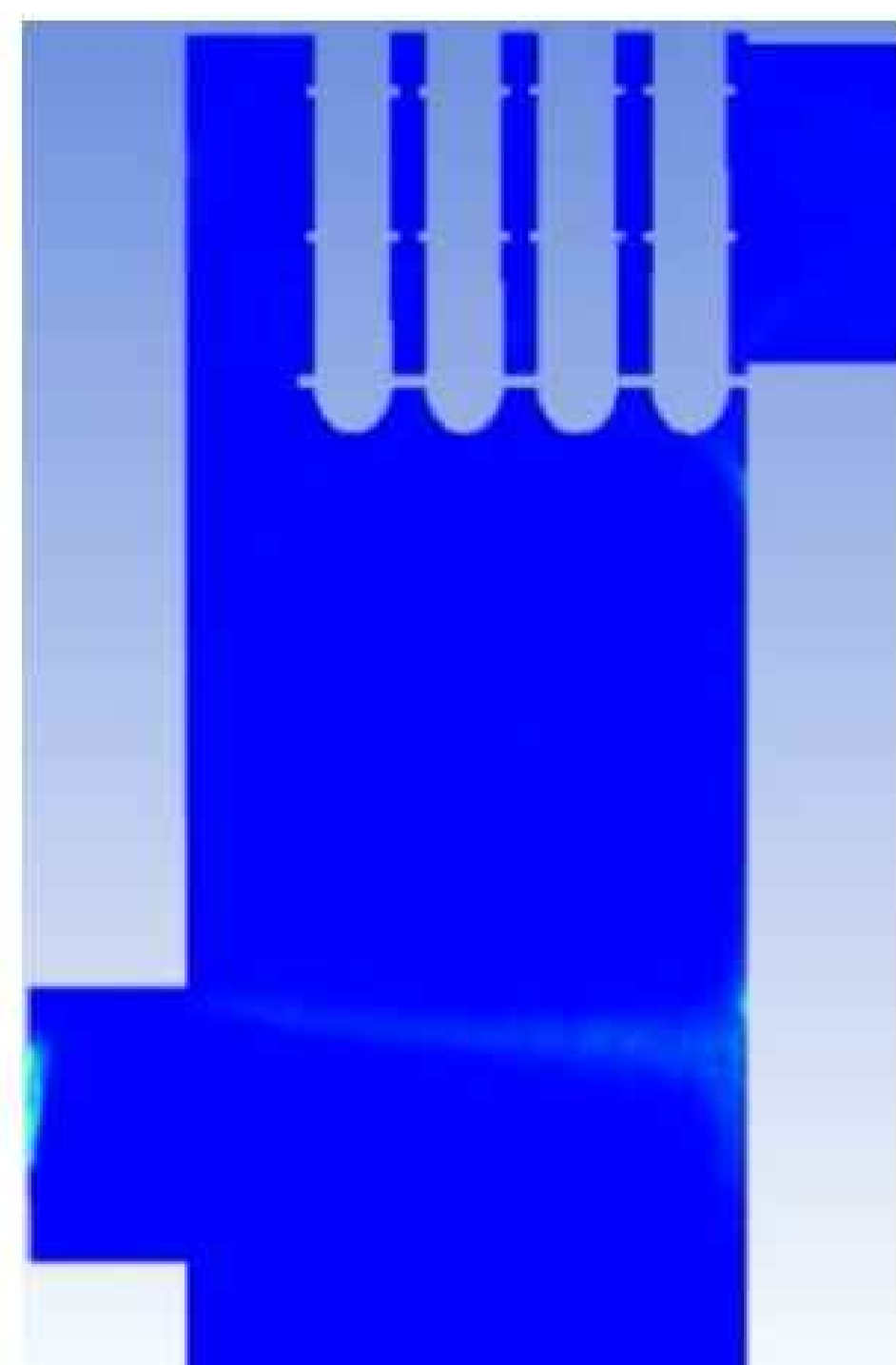


Швидкість повітряного потоку - 9,9 м/с;
Витрата пелет - $72,2 \times 10^{-4}$ кг/с;
Середня швидкість - 2 м/с

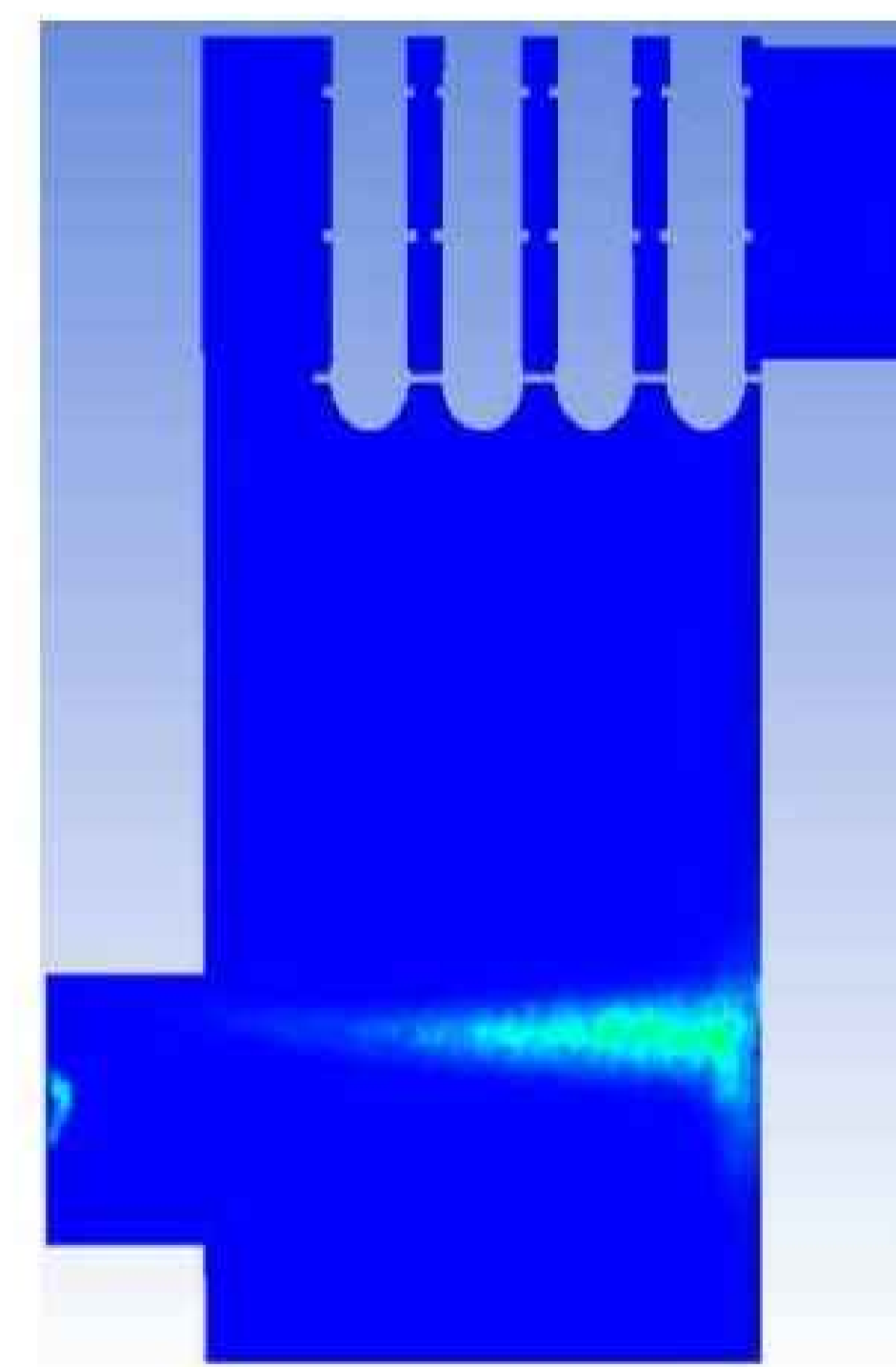
Ступінь вигорання вуглецю



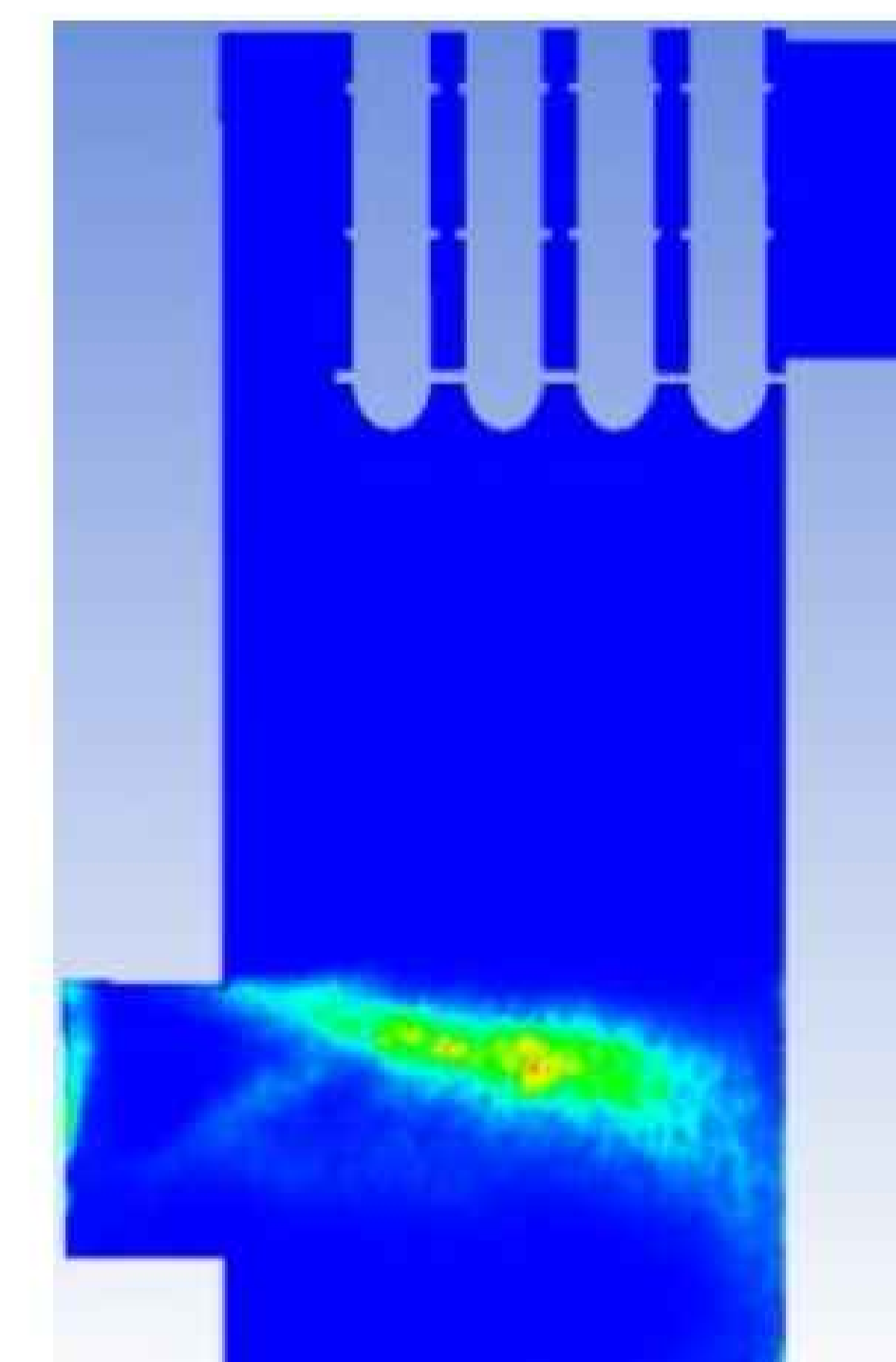
Швидкість повітряного потоку - 3,9 м/с;
Витрата пелет - $72,2 \times 10^{-4}$ кг/с;
Середня швидкість - 2 м/с



Швидкість повітряного потоку - 3,9 м/с;
Витрата пелет - 12×10^{-3} кг/с;
Середня швидкість - 2 м/с



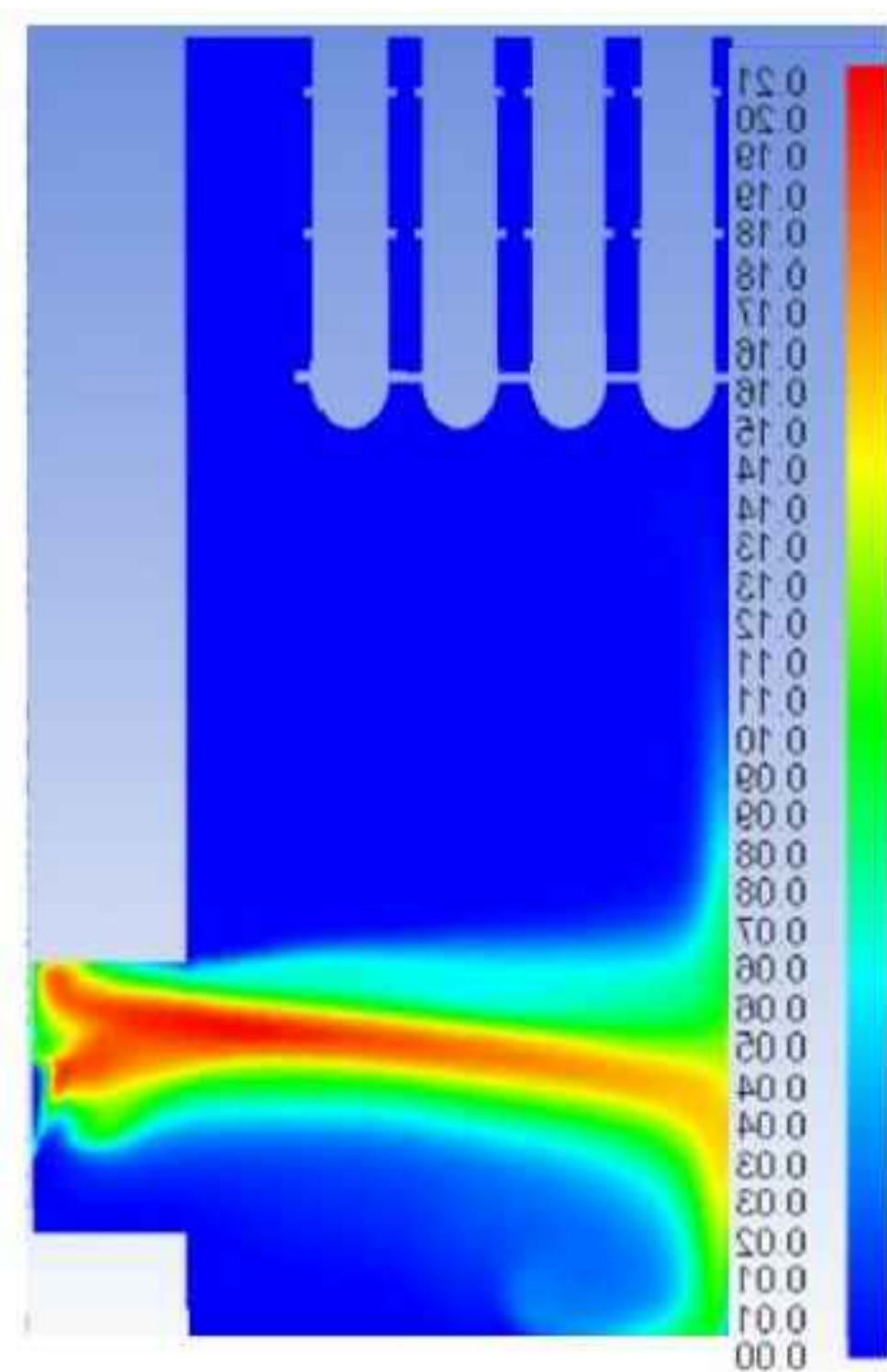
Швидкість повітряного потоку - 9,9 м/с;
Витрата пелет - 12×10^{-3} кг/с;
Середня швидкість - 5 м/с



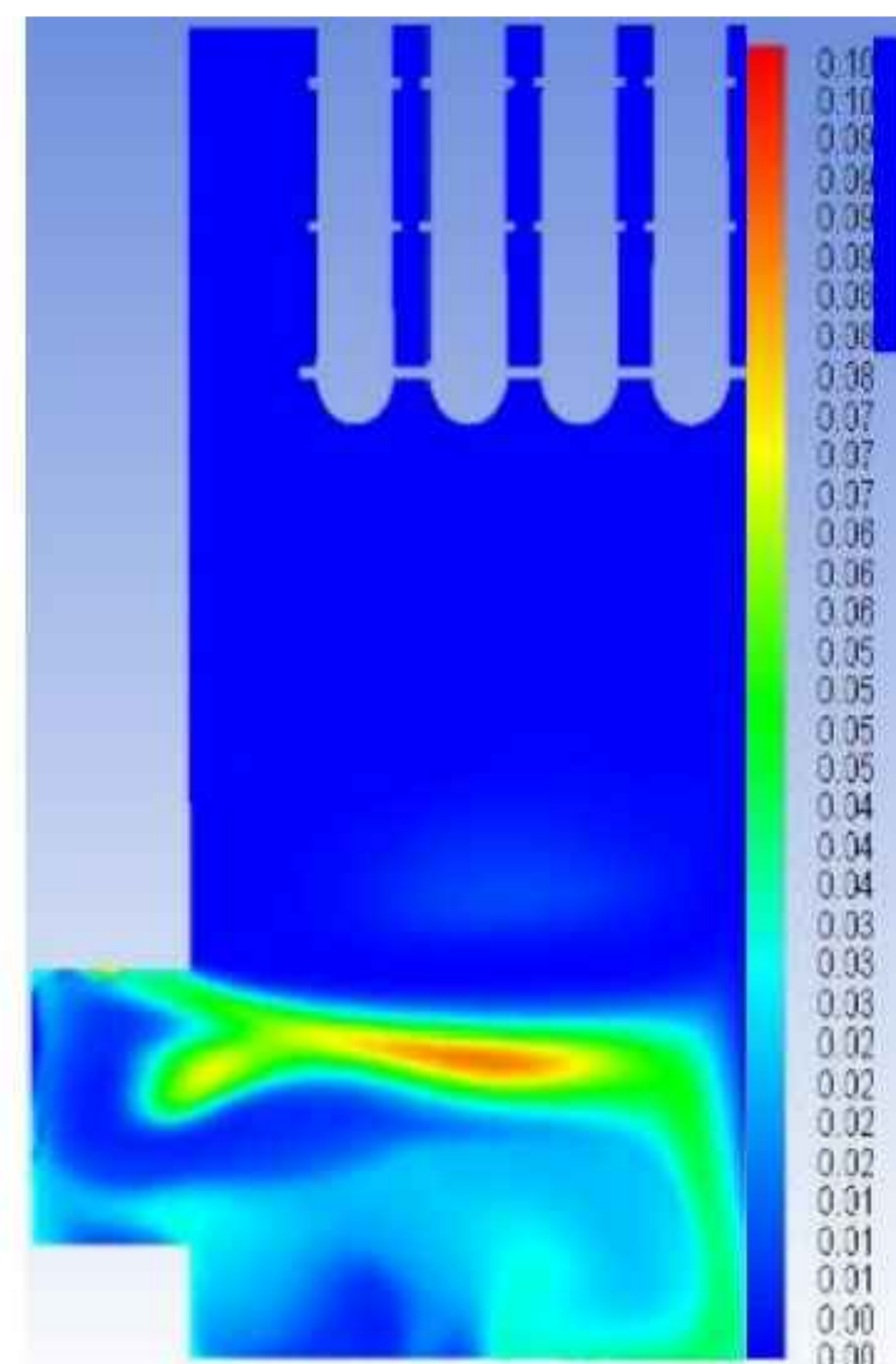
Швидкість повітряного потоку - 9,9 м/с;
Витрата пелет - $72,2 \times 10^{-4}$ кг/с;
Середня швидкість - 2 м/с

4. Результати моделювання температури та розподілу масової долі компонента реакції

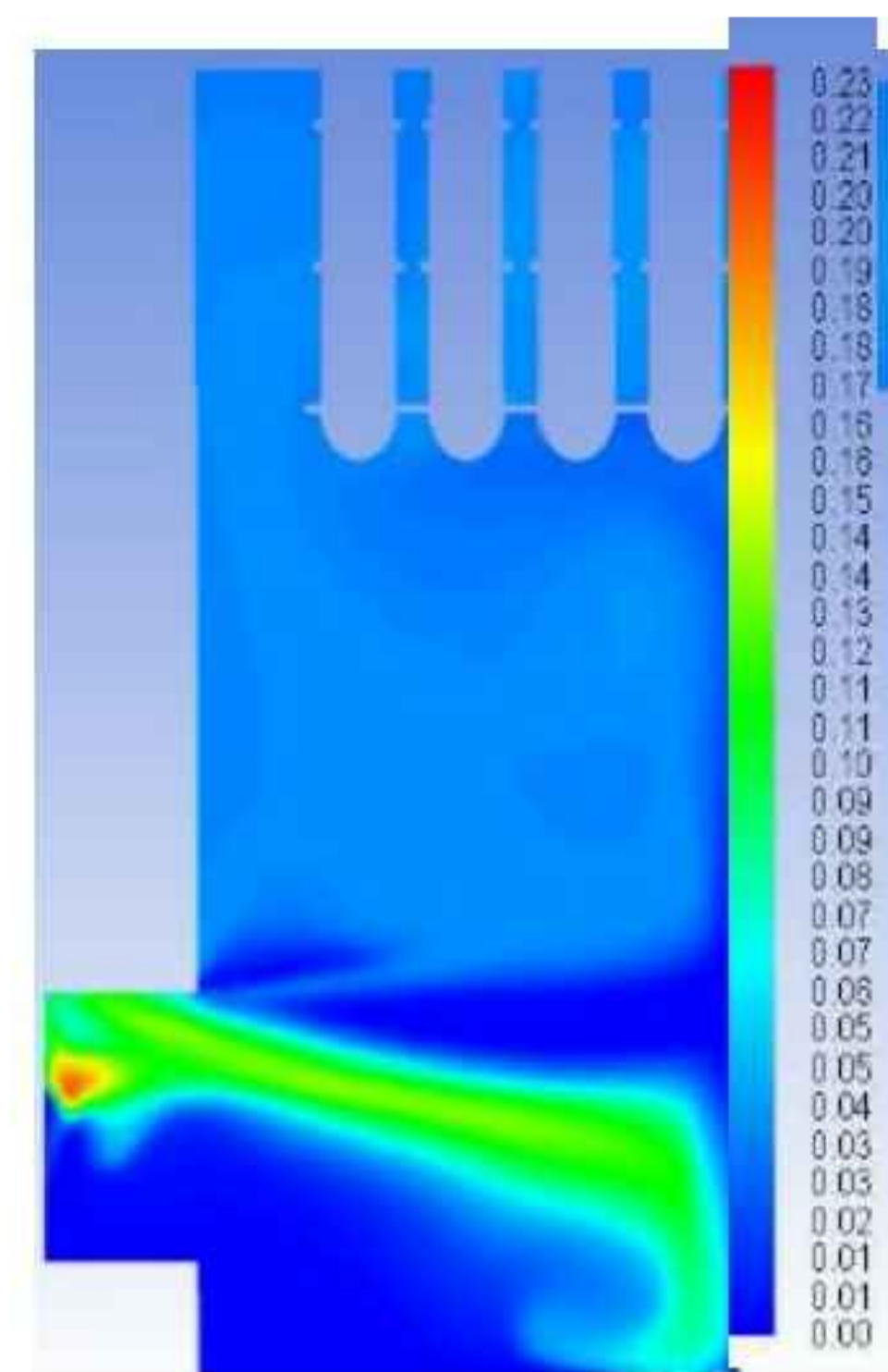
Розподіл масової долі компонента реакції CO



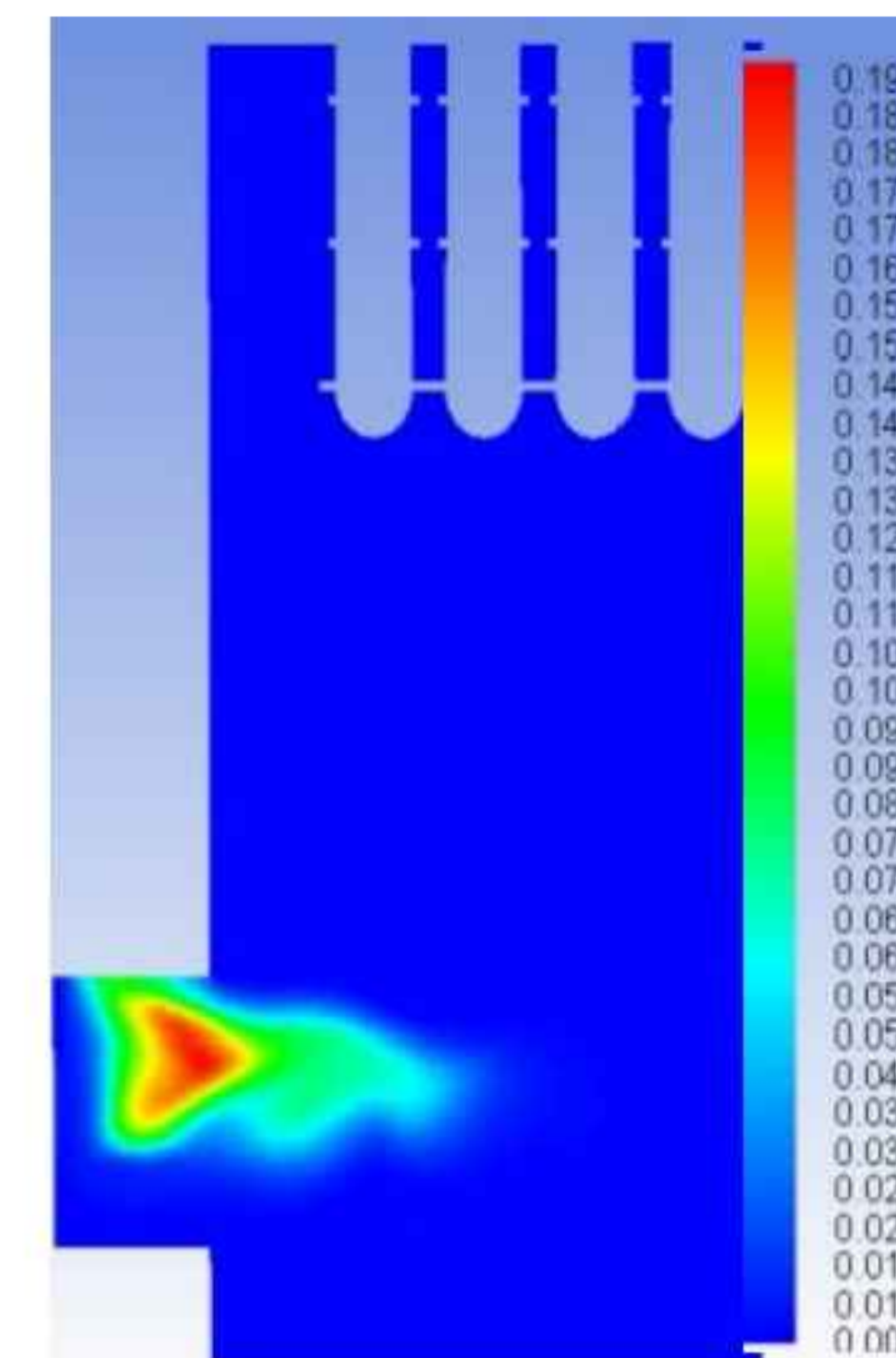
Швидкість повітряного потоку - 3,9 м/с;
Витрата пелет - $72,2 \times 10^{-4}$ кг/с;
Середня швидкість - 2 м/с



Швидкість повітряного потоку - 3,9 м/с;
Витрата пелет - 12×10^{-3} кг/с;
Середня швидкість - 2 м/с

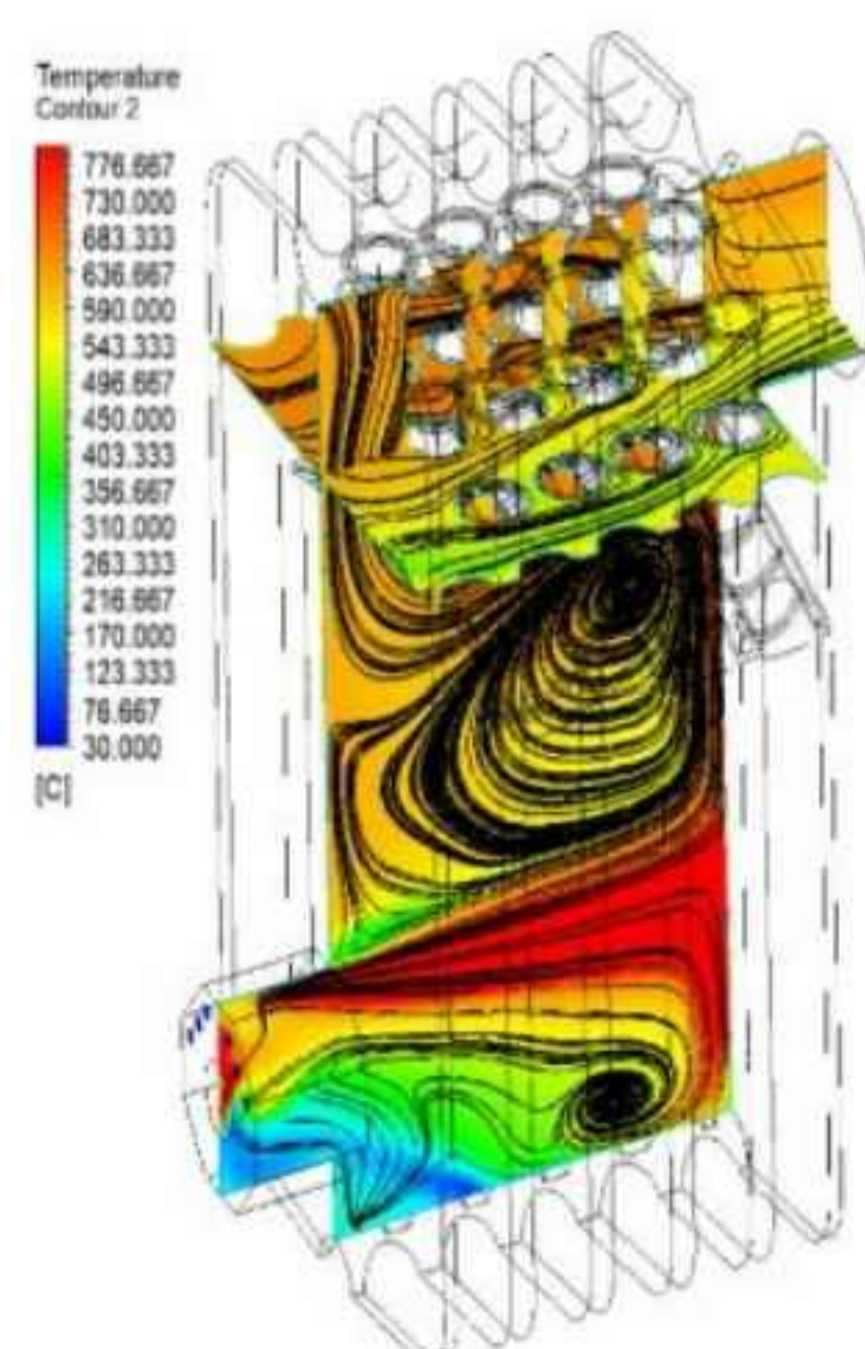


Швидкість повітряного потоку - 9,9 м/с;
Витрата пелет - 12×10^{-3} кг/с;
Середня швидкість - 5 м/с

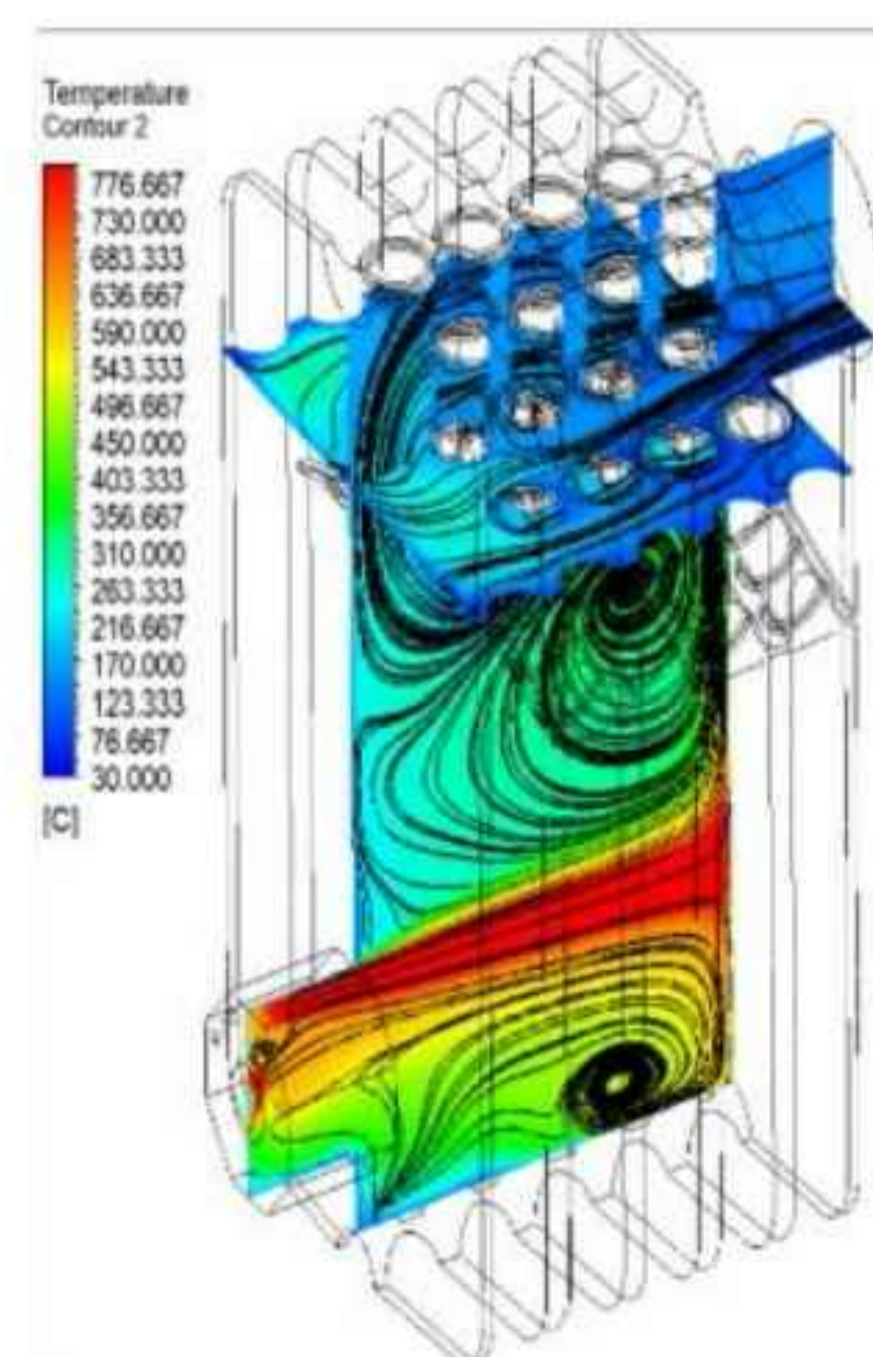


Швидкість повітряного потоку - 9,9 м/с;
Витрата пелет - $72,2 \times 10^{-4}$ кг/с;
Середня швидкість - 2 м/с

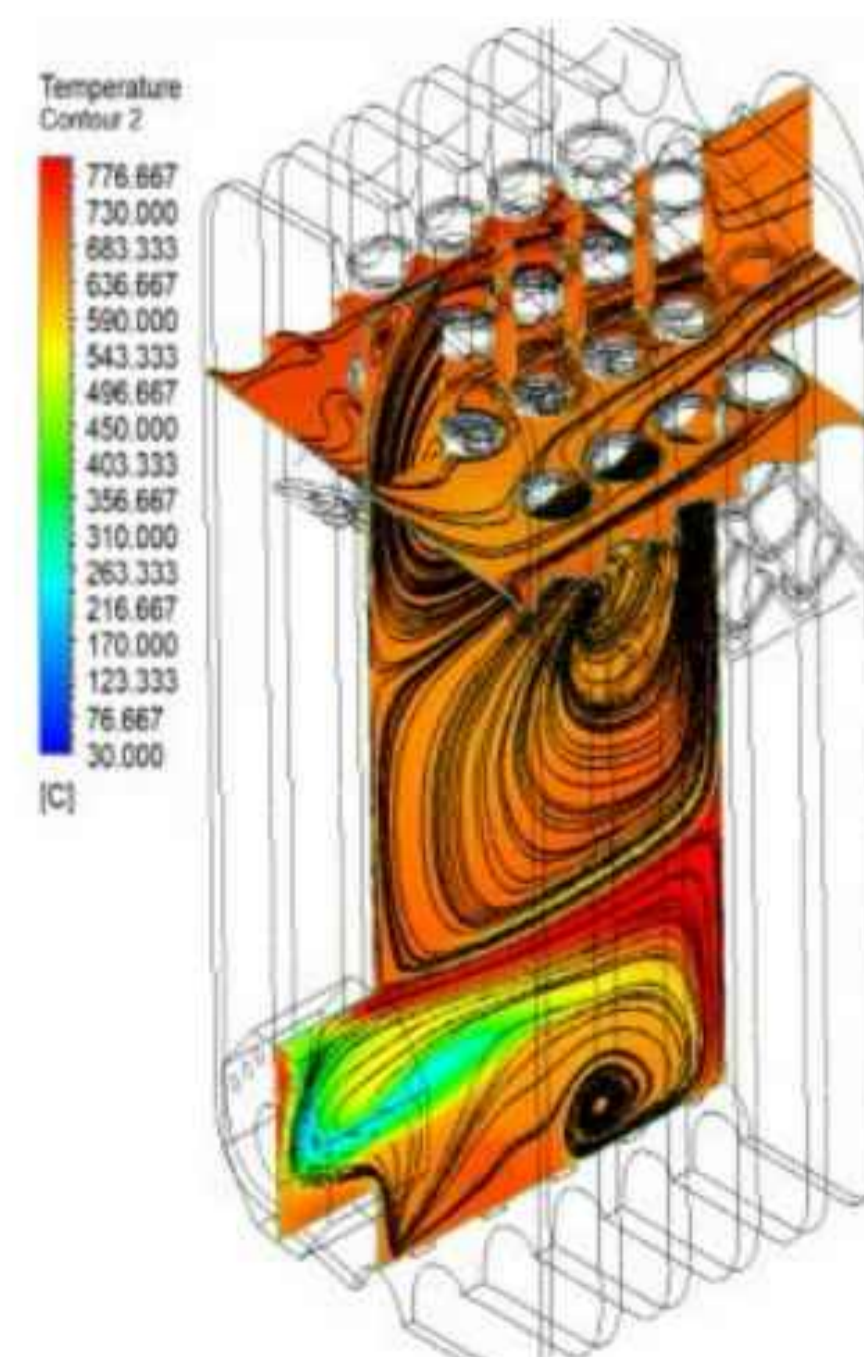
Розподіл температур



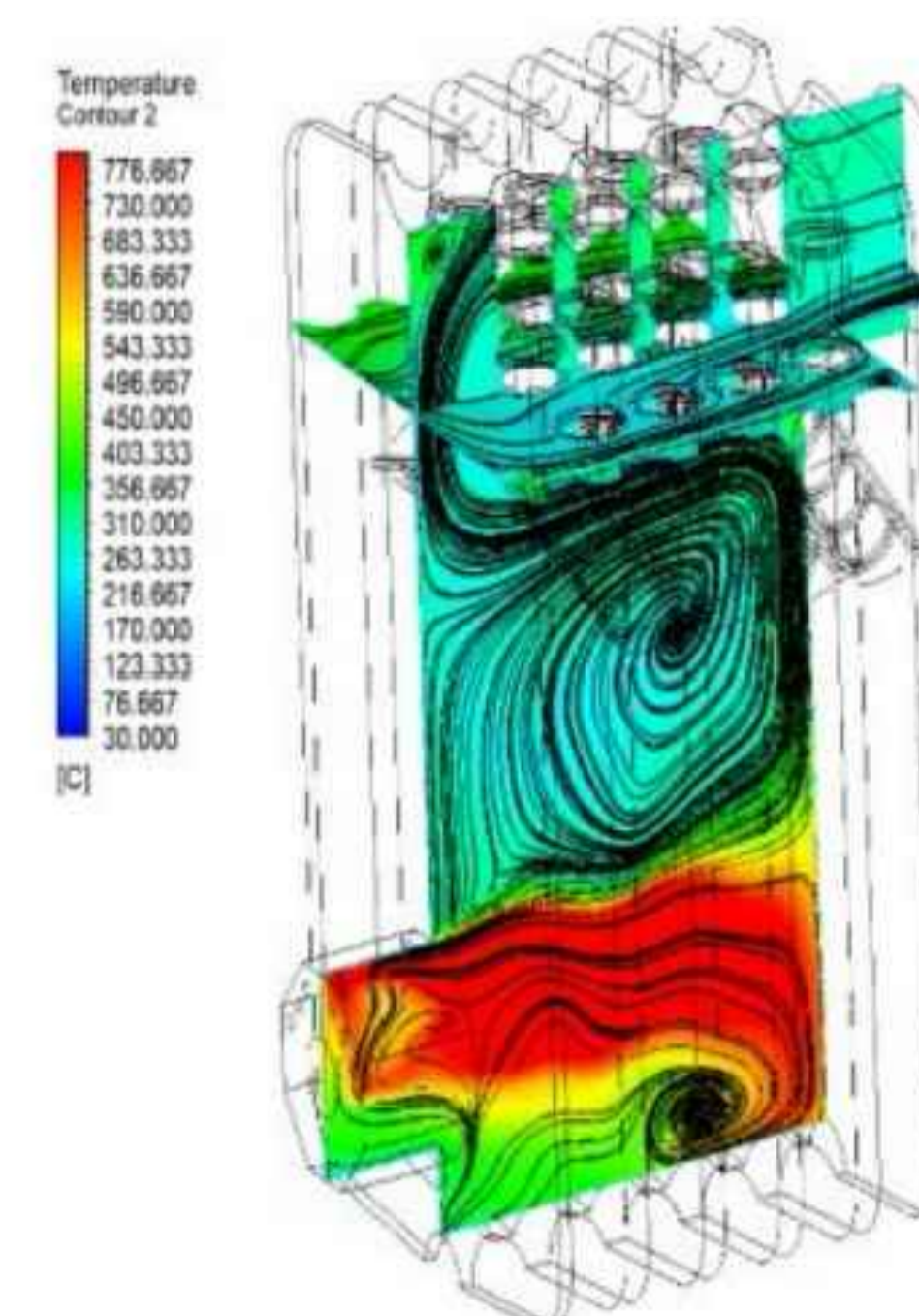
Швидкість повітряного потоку - 3,9 м/с;
Витрата пелет - $72,2 \times 10^{-4}$ кг/с;
Середня швидкість - 2 м/с



Швидкість повітряного потоку - 3,9 м/с;
Витрата пелет - 12×10^{-3} кг/с;
Середня швидкість - 2 м/с



Швидкість повітряного потоку - 9,9 м/с;
Витрата пелет - 12×10^{-3} кг/с;
Середня швидкість - 5 м/с



Швидкість повітряного потоку - 9,9 м/с;
Витрата пелет - $72,2 \times 10^{-4}$ кг/с;
Середня швидкість - 2 м/с