

РОЗДІЛ 6. НАТУРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВИКОНАНИХ НА ОСНОВІ БАЗАЛЬТОВИХ ВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

Перехід до волокнистих матеріалів, які складаються з елементарних волокон з меншими діаметрами, характеризується покращенням їх теплозахисних властивостей. Нижче наводяться графічні залежності коефіцієнтів теплопровідності матеріалу від густини волокнистого холста (Рисунок 6. 1), одержані для БСТВ з різними середніми діаметрами елементарних волокон (надалі діаметром БВ). Характеристики побудовані для БСТВ з діаметром БВ 3,0 мкм відповідають нормативним вимогам, які висуваються для мінеральних та БВ зазначеного діаметра [164, 167]. Характеристики побудовані для БСТВ з діаметром БВ 1,7 мкм – експериментальні дані, опубліковані в роботі [5, табл. 10.13]. Характеристики побудовані для БСТВ з діаметром БВ 1,1 мкм – результати випробувань властивостей волокнистого матеріалу, одержані на модернізованій установці з виробництва БСТВ (дуплекс-технологія) [186]. На рисунку різним кольором позначено криві, які відповідають різним температурам виробування матеріалу 25, 125 та 300 °С.

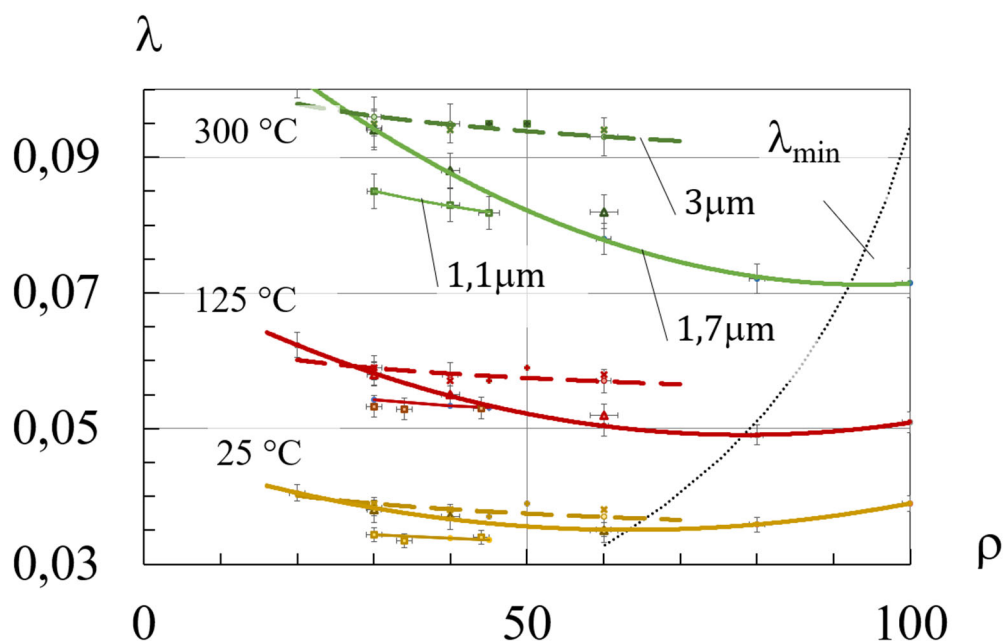


Рисунок 6. 1 – Залежність коефіцієнту теплопровідності БСТВ від густини: 1) ρ (кг/м³); λ (Вт/(м²·°С)); 2) 25; 125; 300 °С – температури, при яких визначалися λ ; 3) 1,1; 1,7; 3 мкм – середні діаметри елементарних БВ.

Як показано на прикладі експериментальних даних БСТВ з діаметром БВ 1,7 мкм, холст волокнистого матеріалу має оптимальну густину, яка

характеризується мінімальними значеннями коефіцієнтів теплопровідності. Крива, яка відповідає оптимальній густині позначена символом λ_{min} (формули 1.1, 1.2). Зі зменшенням діаметра БВ крива оптимальної густини зміщується вліво, в сторону менших значень густини. Крім того, зменшення діаметра БВ збільшує питому поверхню контакту волокон в об'ємі холста, покращуючи його пружні властивості.

З метою перевірки ефективності роботи модернізованих теплоізоляційних конструкцій (ТК), які використовують в якості основного теплоізоляційного шару холста БСТВ з діаметром БВ 1,1 мкм густиною 30 та 40 кг/м³, проведено цикл досліджень на натурних об'єктах.

6.1. Теплоізоляція технологічних паропроводів Слов'янської та Бурштинської ТЕС

Дослідження проведене на Слов'янській ТЕС переслідувало дві цілі: а) перевірку у натурних умовах ефективності роботи модернізованої ТК, виконаної з шару БСТВ з діаметром БВ 1,1 мкм та номінальною густиною холста 30 кг/м³ (зразок 1); б) порівняння ефективності роботи модернізованої ТК (зразок 1) з аналогічними показниками ТК виконаної на основі волокнистих матеріалів на синтетичному в'язучому (зразок 2). Ефективність роботи ТК оцінювалася з дотриманням вимог галузевих методичних вказівок по величинам середньої температури поверхні конструкції та питомих втрат теплоти з поверхні.

6.1.1. Методика дослідження ефективності теплоізоляційних конструкцій

При виконанні роботи визначались наступні величини:

- а) геометричні розміри дослідних теплоізоляційних конструкцій (ТК);
- б) параметри оточуючого середовища в місці розташування дослідних ТК;
- в) безконтактним шляхом визначались температури поверхні дослідних ТК та оточуючих поверхонь.

Вимірювання параметрів зовнішнього середовища виконувалося з дотриманням вимог галузевих методичних вказівок (п. 3.3, [174]). Шляхом прямих вимірювань визначалися температура, відносна вологість та швидкість повітряного потоку. Кожна величина вимірювалася по декілька разів. Вимірювання проводились по всій довжині дослідної конструкції на одній висоті, та охоплювали зразки 1 та 2. Одержані результати осереднювалися, результати вимірювань наводяться нижче (Таблиця 6. 2). Результати використовувалися при проведенні тепловізійної зйомки поверхонь дослідних конструкцій.

Температури поверхонь дослідних теплоізоляційних конструкцій визначалися безконтактним способом. Тепловізійна зйомка проводилася по всій довжині дослідної ділянки. Для аналізу вибиралися ділянки термограм без дефектів, без екрануючих елементів (не затемнені поверхні) з однорідним розташуванням основного ізоляційного матеріалу, крім того, не розглядалися (виключалися) границі зразків.

При обробці на ділянці термограми вибиралася область для якої будувалась гістограма розподілу температур вибірки. Вибірка вважалася задовільною, якщо закон розподілу величин наближався до нормального розподілу. Кількісна оцінка термограм проводилася з використанням програмних продуктів індивідуальних для вимірювальних систем, які використовуються (Testo SE & Co. KGaA, версія програмного забезпечення IRSoft 4.5.3997.34051, <http://www.testo.ru>; ZHEJIANG DALI TECHNOLOGY CO., LTD, DL_Reporter V.1.0.142, <http://www.dali-tech.us>). Обробка термограм закінчувалася визначенням середнього значення (реальної) вибірки (\bar{X}) та величини середнього квадратичного відхилення (σ). Для більшої наочності, на рисунках, приводяться термограми з позначенням областей для яких температури поверхні задовольняють діапазону ($\bar{X} - \sigma$; $\bar{X} + \sigma$). Вказаний діапазон температур рівномірно охоплює поверхні дослідних зразків.

Зважаючи на те, що точне визначення величини коефіцієнту випромінення поверхні пов'язане з об'єктивними труднощами, при проведенні тепловізійної

зйомки встановлювалося два значення коефіцієнту випромінення – 0,93 та 0,96, а при обробці термограм, з метою визначення впливу величини коефіцієнту випромінення на температуру зовнішньої поверхні дослідної конструкції, варіювався діапазон величин коефіцієнту з 0,90 до 0,96.

Другою величиною, вплив якої на температуру поверхні дослідної поверхні ізоляції вивчався, була величина відображеної температури (*t_{reflect temperature}*) поверхні. При обробці термограм величина *t_{reflect temperature}* варіювалась в діапазоні з 40 до 60 °С, при цьому фіксувався її вплив на величину температури поверхні ізоляції.

Методика визначення теплових втрат з поверхні дослідної теплоізоляційної конструкції

Тепловий потік з поверхні дослідної ТК, Вт/м² –

$$q = 1,66(t_{insulation} - t_{ambient})^{4/3} + 4,88((273 + t_{insulation})^4 - (273 + t_{ambient})^4)10^{-8}, \quad (6.1)$$

де *t_{insulation}* – середня температура поверхні ТК (результат тепловізійної зйомки), °С; *t_{ambient}* – температура зовнішнього середовища (результат вимірювання), °С.

Втрати теплоти приведені до 1 м довжини ізолюваного трубопроводу, Вт/м

–

$$q_L = P \cdot q, \quad (6.2)$$

де *P* – довжина окружності дослідної ТК, м.

Лінійні втрати теплоти (Вт/м) приведені до температури зовнішнього повітря 25 °С –

$$(q_L)_{25} = q_L \frac{(t_0 - 25)}{(t_0 - t_{ambient})}, \quad (6.3)$$

де *t₀* – температура теплоносія в об'єктах, які теплоізолюються, °С.

Температура поверхні теплової ізоляції, що приведена до температури зовнішнього середовища 25 °С –

$$(t_{insulation})_{25} = \frac{(q_L)_{25}}{q_L} (t_{insulation} - t_{ambient}) + 25. \quad (6.4)$$

Методика розрахунку температури зовнішньої поверхні дослідної теплоізоляційної конструкції з покривним шаром з азбестоцементної штукатурки.

Величина опору тепловіддачі зовнішньої поверхні дослідної теплоізоляційної конструкції –

$$R_1 = \frac{1}{(d_n+2S)\alpha} = \frac{1}{d_{ins}\alpha} = \frac{\pi(t_{insulation}-t_{ambient})}{q_L}, \quad (6.5)$$

де q_L – втрати теплоти приведені до 1 м довжини трубопроводу, Вт/м (формула 6.2).

Величина термічного опору шару ТІ описується залежністю –

$$R_2 = \left(\frac{1}{2\lambda_{ins}}\right) \ln\left(\frac{d_n+2S}{d_n}\right) = \left(\frac{1}{2\lambda_{ins}}\right) \ln\left(\frac{d_{ins}}{d_n}\right) = \frac{\pi(t_0-t_{insulation})}{q_L}, \quad (6.6)$$

де t_0 – температура теплоносія, °С.

Розв'язуючи спільно рівняння (6.7), (6.8) та (6.9) знаходимо величини лінійної густини теплового потоку (q_L^*) та середньої температури поверхні дослідної теплоізоляційної конструкції ($t_{insulation}^*$) з покривним шаром (0,02 м) азбестоцементної штукатурки –

$$q_L^* = \frac{\pi(t_0-t_{insulation})}{\sum R} = \frac{\pi(t_0-t_{insulation})}{R_1+R_2+R_3}, \quad (6.7)$$

$$R_3 = \left(\frac{1}{2\lambda_3}\right) \ln\left(\frac{d_n+2(S+0,02)}{d_n+2S}\right) = \left(\frac{1}{2\lambda_3}\right) \ln\left(\frac{d_{ins}+2\cdot0,02}{d_{ins}}\right). \quad (6.8)$$

$$t_{insulation}^* = t_{ambient} + \frac{q_L^* R_1}{\pi}, \quad (6.9)$$

де λ_3 – коефіцієнт теплопровідності покривного шару, Вт/(м·К) (1,0 Вт/(м·К)); 0,02 – товщина покривного шару (м).

6.1.2. Результати досліджень теплоізоляційних конструкцій на Слов'янській ТЕС

Зразки дослідних теплоізоляційних конструкцій відносяться до збірних некомплектних конструкцій, виконаних без покривного шару. В якості матеріалу основного теплоізоляційного шару використовуються рулонні волокнисті матеріали. Зразок 1 виконано з матів прошивних безобкладкових (МТПБа, номінальною густиною 30 кг/м^3) [164], зразок 2 виконано з матів ROCKWOOL PROROX WM 920 (номінальною густиною 60 кг/м^3). В зразках використовувались мати однієї товщини – 70 мм. Теплоізоляційні конструкції виконувалися з однаковою кількістю шарів – 3 шари.

Дослідні конструкції встановлено в приміщенні, на блоці №7, котел 7А, горизонтальний трубопровід гострої пари, відмітка +29,0 метрів, зовнішній діаметр паропроводу ($D_n \cdot s$) 382·70 мм, робочі параметри пари – надлишковий тиск 250 атн, температура 545 °С. Загальна довжина дослідної ділянки 5,6 метри (по 2,8 метри кожний з зразків конструкції). Режим роботи дослідної ділянки має періодичний характер – блок № 7 працює в маневровому режимі. Тривалість роботи дослідної ділянки протягом року – більше 5000 годин.

Геометричні характеристики дослідних ТК, що використовуються в дослідженні, наводяться нижче (Таблиця 6. 1). Товщина шару дослідних ТК визначалась двома методами – прямим вимірюванням товщини ізоляційної конструкції (метод 1) та не прямим вимірюванням, через довжину кола конструкції (метод 2). При обробці результатів тепловізійної зйомки товщина теплоізоляційної конструкції визначалась як середня арифметична величина з значень, одержаних методами 1 та 2. З метою забезпечення можливості візуального контролю стану ТІ протягом підконтрольного періоду експлуатації в дослідних конструкціях не виконувався покривний шар азбестоцементної штукатурки (0,02 м). При визначенні температур поверхні ТІ та величини теплових втрат, вплив величини термічного опору покривного шару конструкції оцінювався розрахунковим шляхом.

Таблиця 6. 1 – Геометричні розміри дослідних ділянок теплоізоляційних конструкцій (Слов'янська ТЕС)

№ п/п	Найменування позиції	Поз- на- чення	Од. вим.	Значення	
				Зразок 1	Зразок 2
	<u>Метод 1</u>				
1.	Товщина теплоізоляційного шару		м	0,112	0,120
	<u>Метод 2</u>				
2.1.	Довжина кола		м	2,02	1,98
2.2.	Зовнішній діаметр дослідної кон- струкції		м	0,642	0,631
2.3.	Товщина теплоізоляційного шару		м	0,130	0,125
	<u>Розрахункові характеристики</u>				
3.1.	Товщина теплоізоляційного шару (округлена до значення 0,005 м)	S	м	0,120	
3.2.	Зовнішній діаметр дослідної кон- струкції	d_{ins}	м	0,622	
3.3.	Довжина кола дослідної конструкції	P_{ins}	м	1,954	
3.4.	Площа бічної поверхні 1 метра по- гонного дослідної конструкції		м ²	1,954	

Таблиця 6. 2 – Параметри оточуючого середовища

№ пп	Назва позиції	Позн.	Од. вим.	Величина																				Середнє значення/ Середнє квадратичне відхилення
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1.	Температура повітря	$t_{ambient}$	°C	46,6	45,4	45,8	47,3	46	47,5	46,3	47,8	46,9	48,3	47,5	48,6	47,5	48,4	47,5	48,4	47,4	48,3	47,5	48,3	47,4/0,94
2.	Відносна вологість	φ	%	22,2		21,4		21,5		21,8		19,5		20,2		20,2		19,9		21,5		20,1		20,8/0,94
3.	Швидкість повітря	w	м/с	0,07	0,09	0,07	0,09	0,12	0,25	0,1	0,2	0,09	0,2	0,08	0,15	0,04	0,07	0,27	0,37	0,12	0,19	0,09	0,17	0,14/0,08

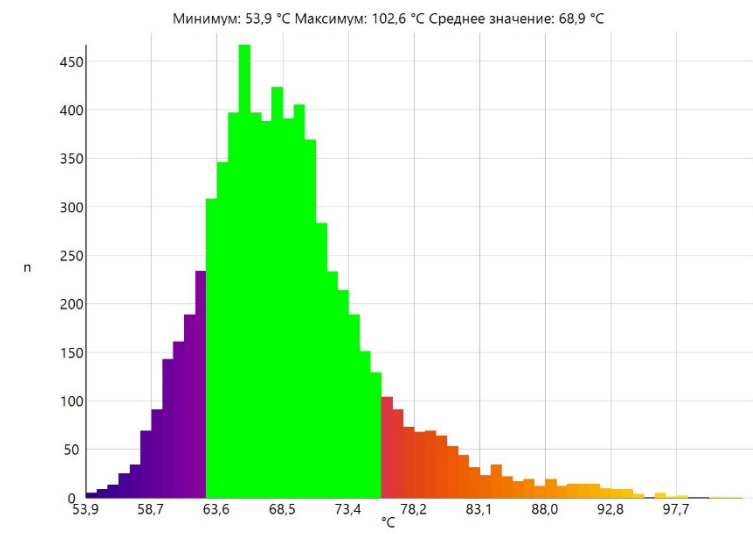
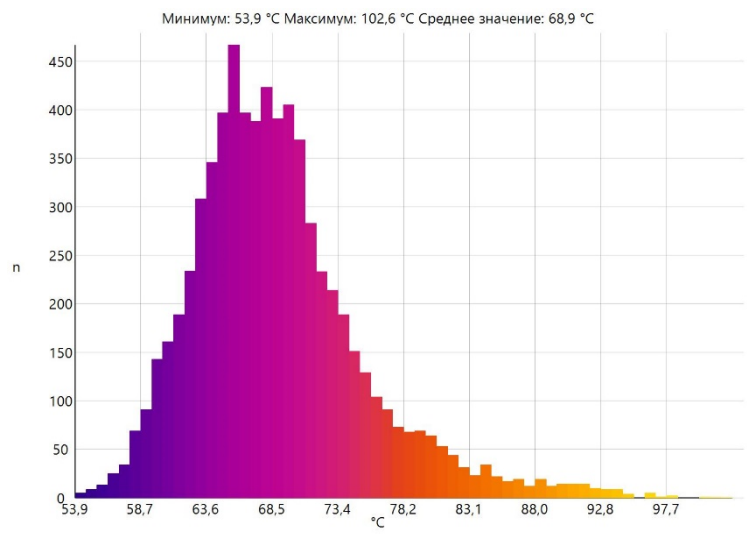
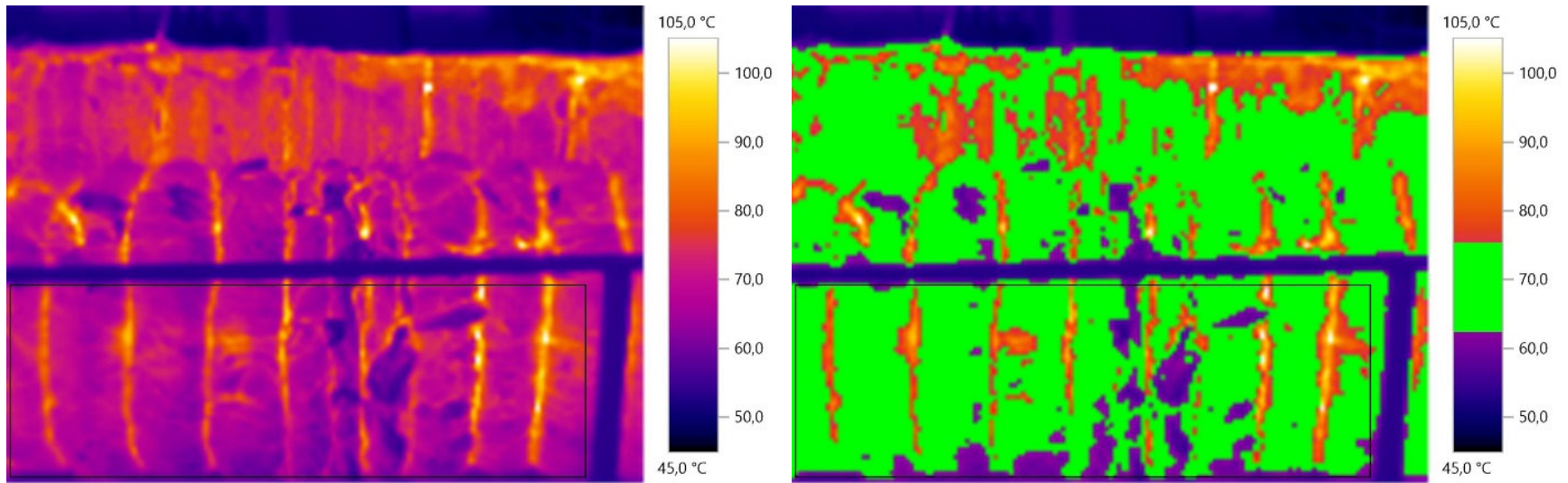


Рисунок 6. 2 – Термограма 1, зразок 1 (тепловізор TESTO)

Таблиця 6. 3 – Обробка термограми 1 (Рисунок 6. 2)

№	Найменування позиції	Од. вим.	IV_06569.BMT											
1.	Температурна шкала	°C	45-105											
2.	Коефіцієнт випромінення	ε	0,96				0,93				0,90			
3.	Відображена температура	°C	40	46	50	60	40	46	50	60	40	46	50	60
4.	Вологість	%	20,8				20,8				20,8			
5.	Зовнішня температура	°C	47,4				47,4				47,4			
6.	Точка роси	°C	19,4				19,4				19,4			
7.	Внутрішня температура	°C	47,4				47,4				47,4			
8.	Зовнішня температура	°C	30				30				30			
9.	Температура поверхні	°C												
	мінімум		53,9	53,6	53,5	53,1	54,3	53,9	53,6	52,8	54,7	54,1	53,7	52,6
	максимум		101,3	101,2	101,1	100,8	102,9	102,6	102,4	101,9	104,5	104,1	103,8	103,1
	середня (\bar{X})		68,4	68,2	68,1	67,7	69,2	68,9	68,6	68	70,1	69,6	69,2	68,2
	середнє квадратичне відхилення (σ)		6,3	6,4	6,3	6,3	6,5	6,5	6,4	6,5	6,6	6,6	6,6	6,7

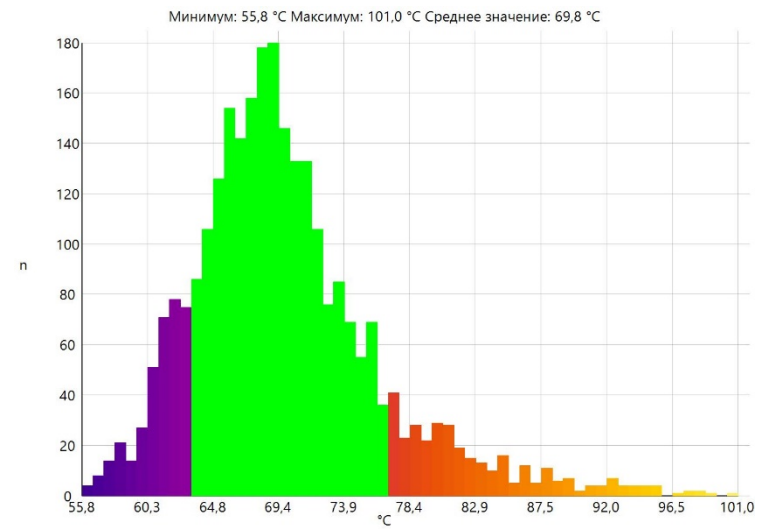
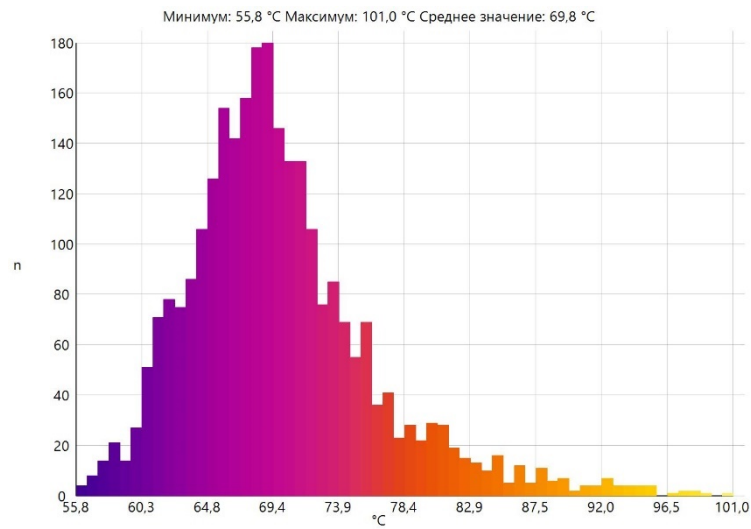
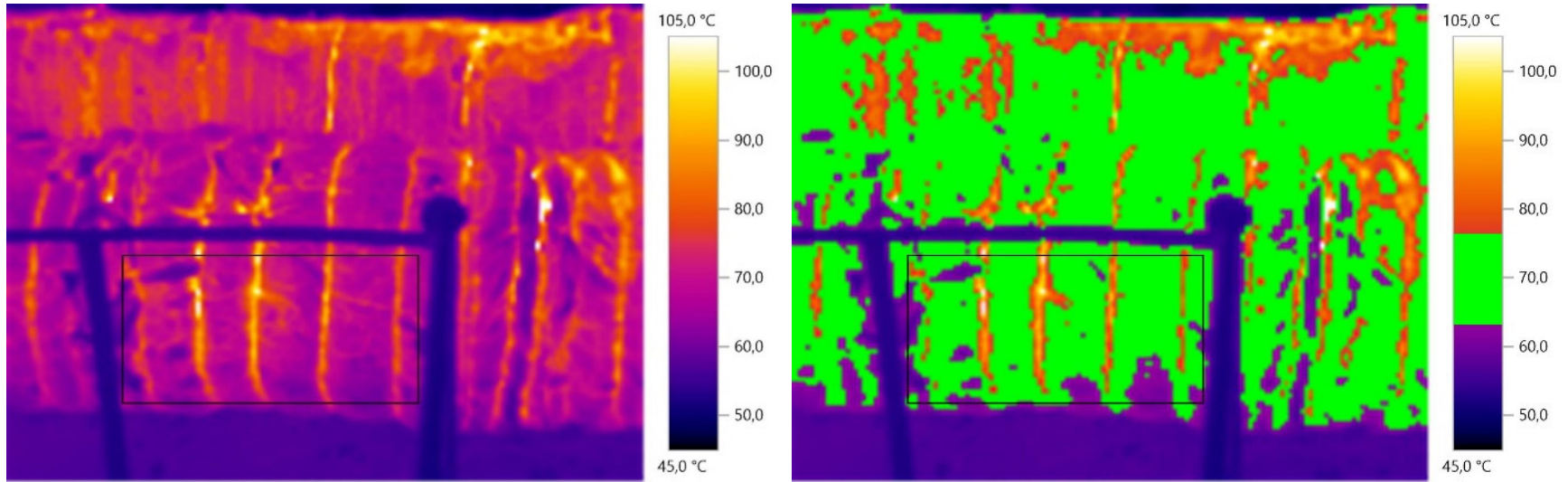


Рисунок 6. 3 - Термограма 2, зразок 1 (тепловізор TESTO)

Таблиця 6. 4 – Обробка термограми 2 (Рисунок 6. 3)

№	Найменування позиції	Ед. изм.	IV_06575.BMT											
1.	Температурна шкала	°C	45-105											
2.	Коефіцієнт випромінення		0,96				0,93				0,90			
3.	Відображена температура	°C	40	46	50	60	40	46	50	60	40	46	50	60
4.	Вологість	%	20,8				20,8				20,8			
5.	Зовнішня температура	°C	47,4				47,4				47,4			
6.	Точка роси	°C	19,4				19,4				19,4			
7.	Внутрішня температура	°C	47,4				47,4				47,4			
8.	Зовнішня температура	°C	30				30				30			
9.	Температура поверхні	°C												
	мінімум		55,7	55,5	55,3	54,9	56,2	55,8	55,5	54,8	56,7	56,1	55,7	54,6
	максимум		99,8	99,7	99,5	99,3	101,3	101,0	100,8	100,3	102,9	102,5	102,2	101,5
	середня (\bar{X})		69,3	69,1	69,0	68,6	70,2	69,8	69,6	68,9	71,0	70,5	70,2	69,2
	середнє квадратичне відхилення (σ)		6,4	6,4	6,4	6,5	6,6	6,6	6,6	6,6	6,7	6,8	6,8	6,8

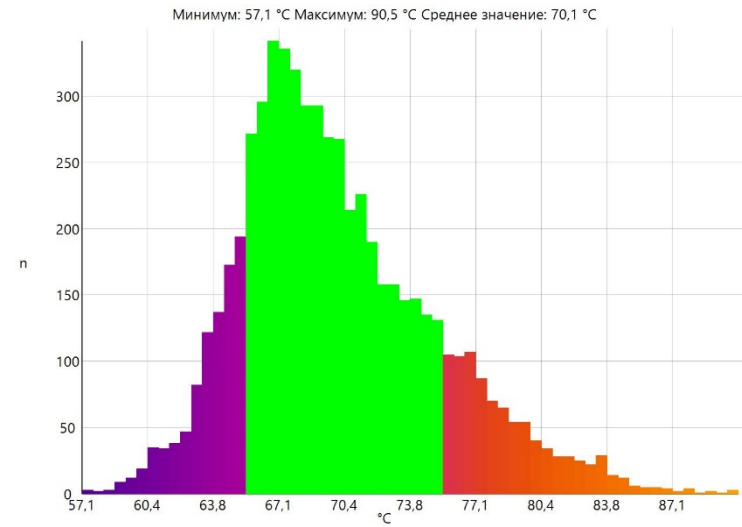
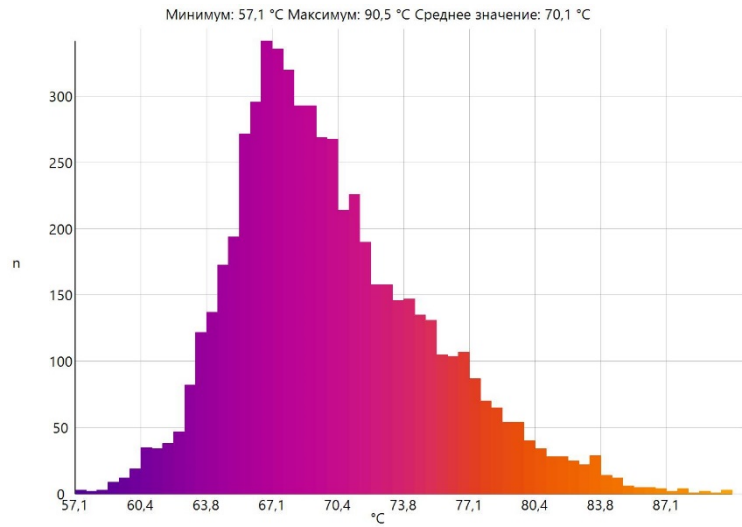
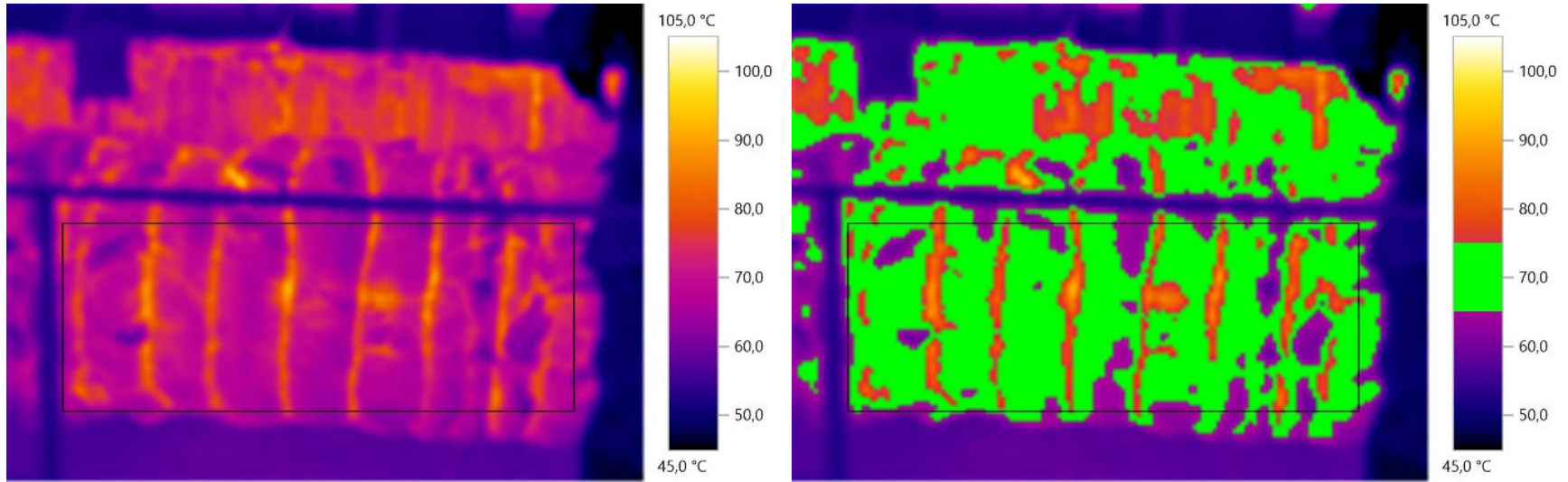
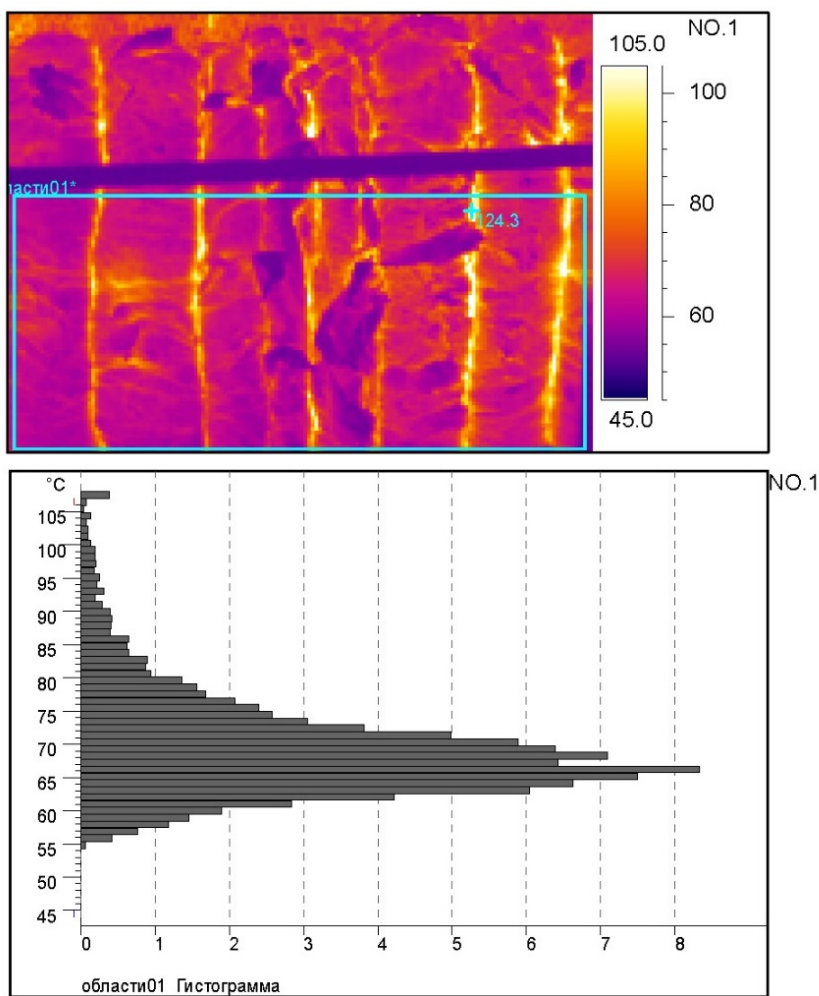


Рисунок 6. 4 - Термограма 3, зразок 1 (тепловізор TESTO)

Таблиця 6. 5 - Обробка термограми 3 (Рисунок 6. 4)

№	Найменування позиції	Ед. изм.	IV_06549.BMT															
1.	Температурна шкала	°C	45-105															
2.	Коефіцієнт випромінення		0,96					0,93					0,90					
3.	Відображена температура	°C	40	46	50	60		40	46	50	60		40	46	50	60		
4.	Вологість	%	20,8					20,8					20,8					
5.	Зовнішня температура	°C	47,4					47,4					47,4					
6.	Точка роси	°C	19,4					19,4					19,4					
7.	Внутрішня температура	°C	47,4					47,4					47,4					
8.	Зовнішня температура	°C	30					30					30					
9.	Температура поверхні	°C																
	мінімум		57	56,8	56,6	56,2		57,5	57,1	56,8	56,1		58	57,5	57	56		
	максимум		89,5	89,3	89,2	88,9		90,7	90,5	90,2	89,7		92,1	91,7	91,4	90,6		
	середня (\bar{X})		69,6	69,4	69,3	68,9		70,5	70,1	69,9	69,2		71,3	70,8	70,5	69,5		
	середнє квадратичне відхилення (σ)		4,9	4,9	4,9	4,9		5,0	5,0	5,0	5,0		5,1	5,1	5,2	5,2		



Информация об изображении	Ценность
Созданная дата	2019-05-31
Созданное время	10:40:36
Имя файла	IR_185.JPG
Параметры	Ценность
Излучаемость	0.93
Расстояние до объекта	2.00m
Атмосфера	20%
Background	46.0°C
Анализ области	Ценность
области01 Максимум	124.3°C
области01 Минимум	55.0°C
области01 Среднее число	69.3°C

NO.1

Рисунок 6. 5 - Термограмма 4, зразок 1 (тепловізор DALI)

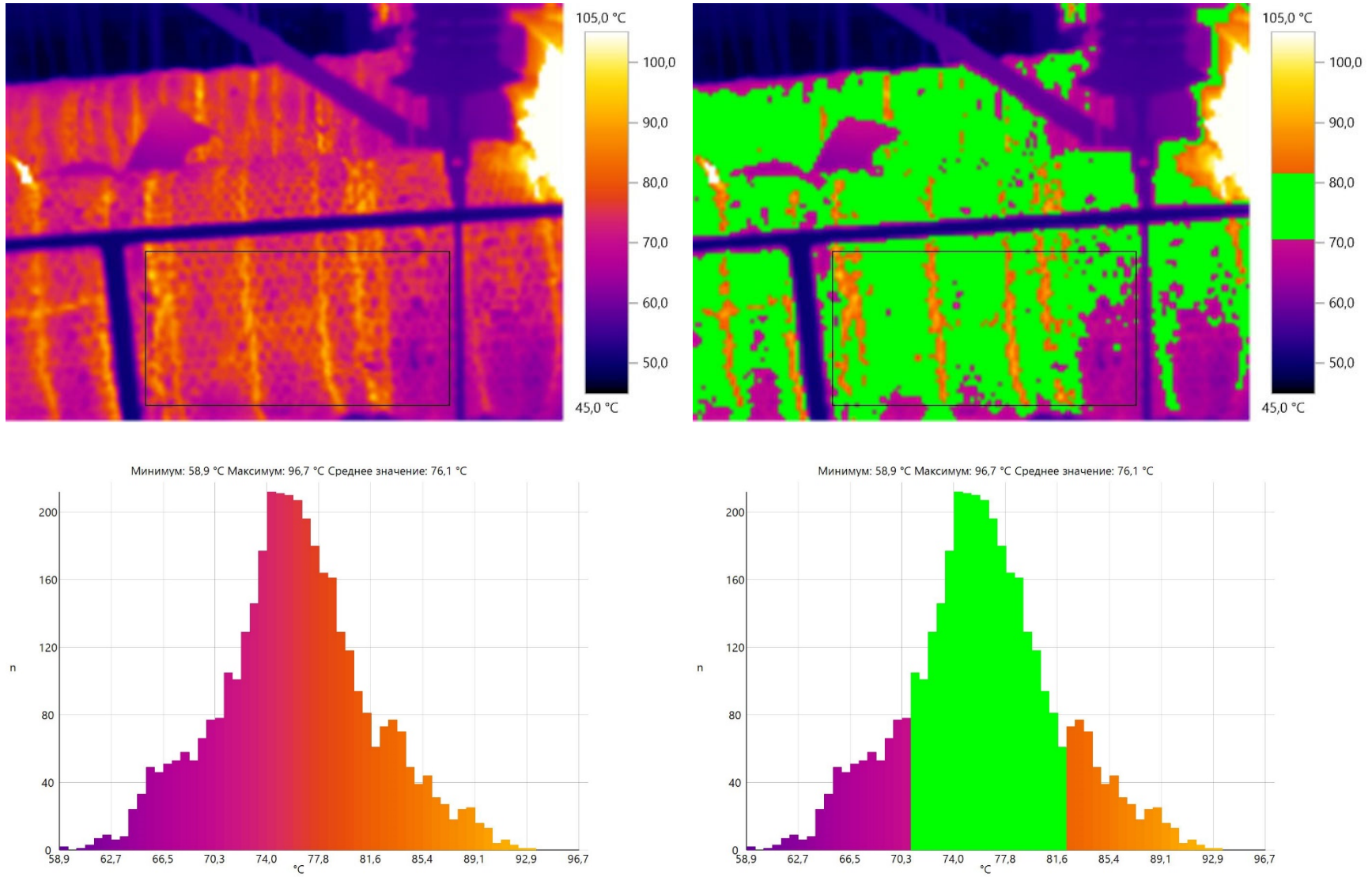


Рисунок 6. 6 - Термограма 5, зразок 2 (тепловізор TESTO)

Таблиця 6. 6 - Обробка термограми 5 (Рисунок 6. 6)

№	Найменування позиції	Ед. изм.	IV_06568.BMT											
1.	Температурна шкала	°C	45-105											
2.	Коефіцієнт випромінення		0,96				0,93				0,90			
3.	Відображена температура	°C	40	46	50	60	40	46	50	60	40	46	50	60
4.	Вологість	%	20,8				20,8				20,8			
5.	Зовнішня температура	°C	47,4				47,4				47,4			
6.	Точка роси	°C	19,4				19,4				19,4			
7.	Внутрішня температура	°C	47,4				47,4				47,4			
8.	Зовнішня температура	°C	30				30				30			
9.	Температура поверхні	°C												
	мінімум		58,8	58,6	58,4	58	59,3	58,9	58,7	57,9	59,9	59,4	58,9	57,9
	максимум		95,6	95,4	95,3	95	97	96,7	96,5	96	98,5	98,1	97,8	97
	середня (\bar{X})		75,4	75,2	75,1	74,8	76,4	76,1	75,8	75,2	77,4	76,9	76,6	75,7
	середнє квадратичне відхилення (σ)		5,4	5,4	5,4	5,4	5,5	5,5	5,5	5,5	5,6	5,6	5,7	5,7

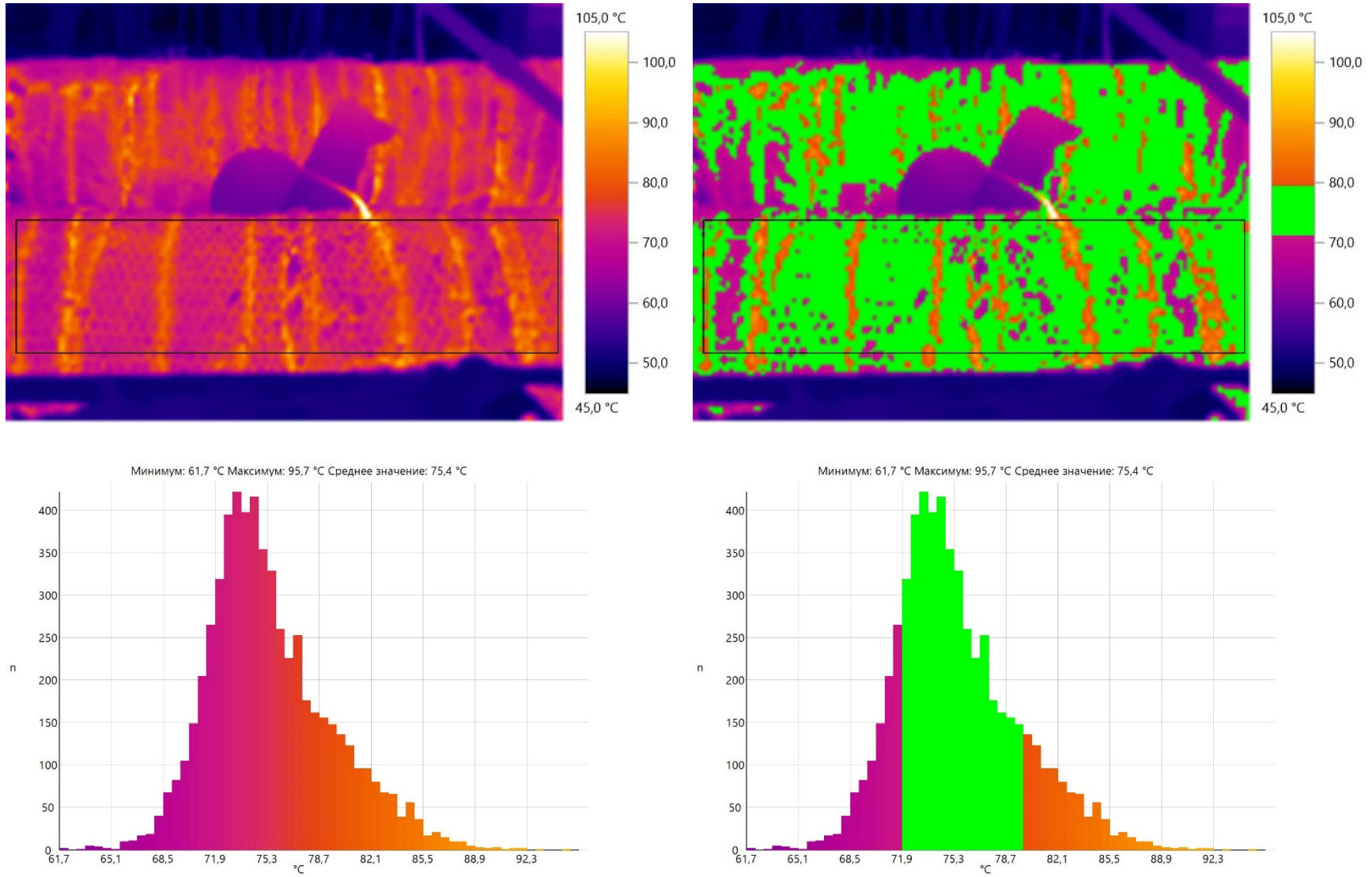


Рисунок 6. 7 - Термограма 6, зразок 2 (тепловізор TESTO)

Таблиця 6. 7 - Обробка термограми 6 (Рисунок 6. 7)

№	Найменування позиції	Ед. изм.	IV_06578.BMT															
1.	Температурна шкала	°C	45-105															
2.	Коефіцієнт випромінення		0,96					0,93					0,90					
3.	Відображена температура	°C	40	46	50	60		40	46	50	60		40	46	50	60		
4.	Вологість	%	20,8					20,8					20,8					
5.	Зовнішня температура	°C	47,4					47,4					47,4					
6.	Точка роси	°C	19,4					19,4					19,4					
7.	Внутрішня температура	°C	47,4					47,4					47,4					
8.	Зовнішня температура	°C	30					30					30					
9.	Температура поверхні	°C																
	мінімум		61,4	61,2	61	60,7		62	61,7	61,4	60,7		62,7	62,1	61,7	60,7		
	максимум		94,6	94,4	94,3	94		96	95,7	95,5	95		97,4	97	96,7	96		
	середня (\bar{X})		74,8	74,6	74,5	74,1		75,8	75,4	75,2	74,6		76,8	76,3	75,9	75		
	середнє квадратичне відхилення (σ)		4	4	4	4		4,1	4,1	4,1	4,1		4,2	4,2	4,2	4,2		

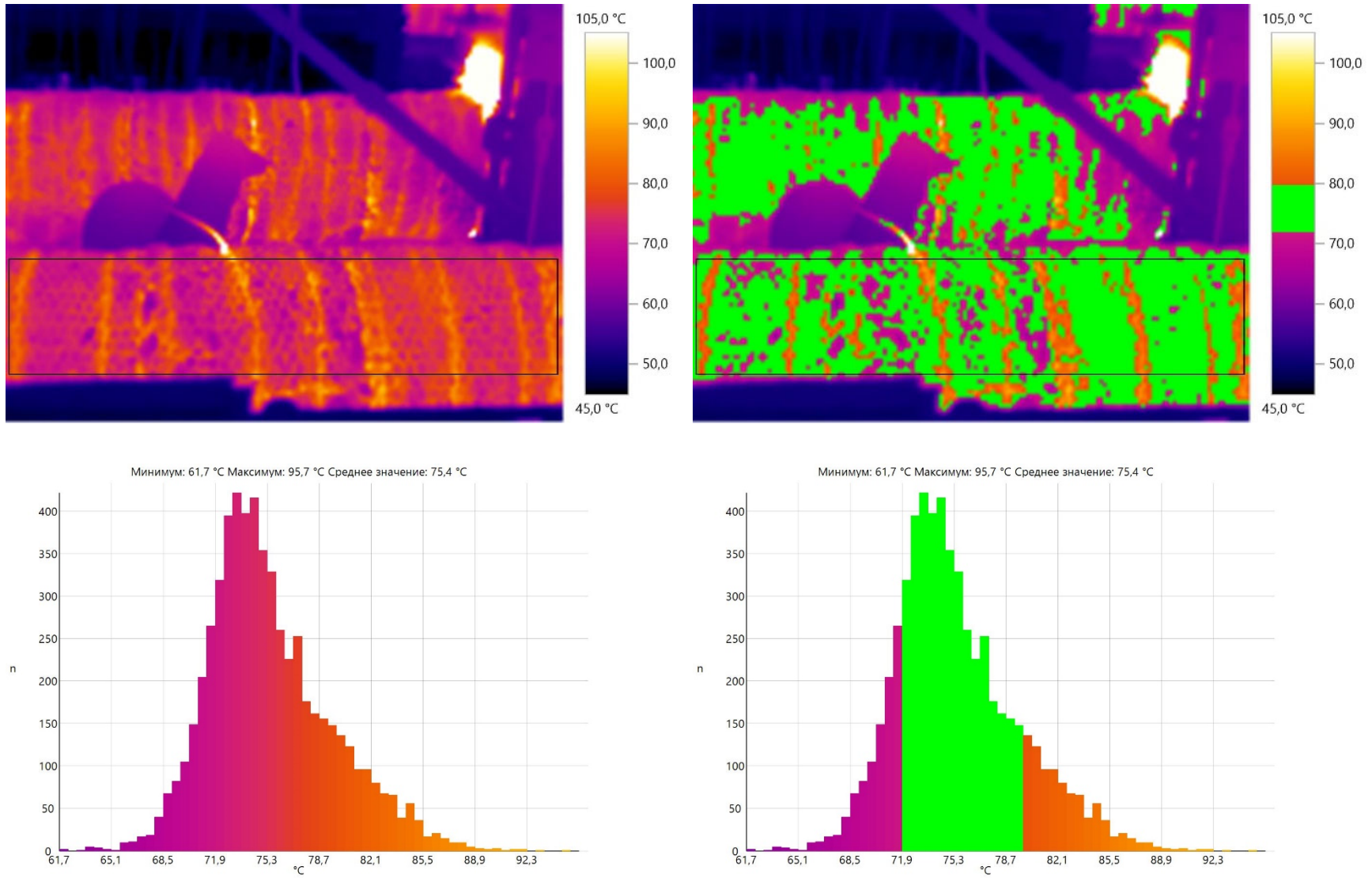
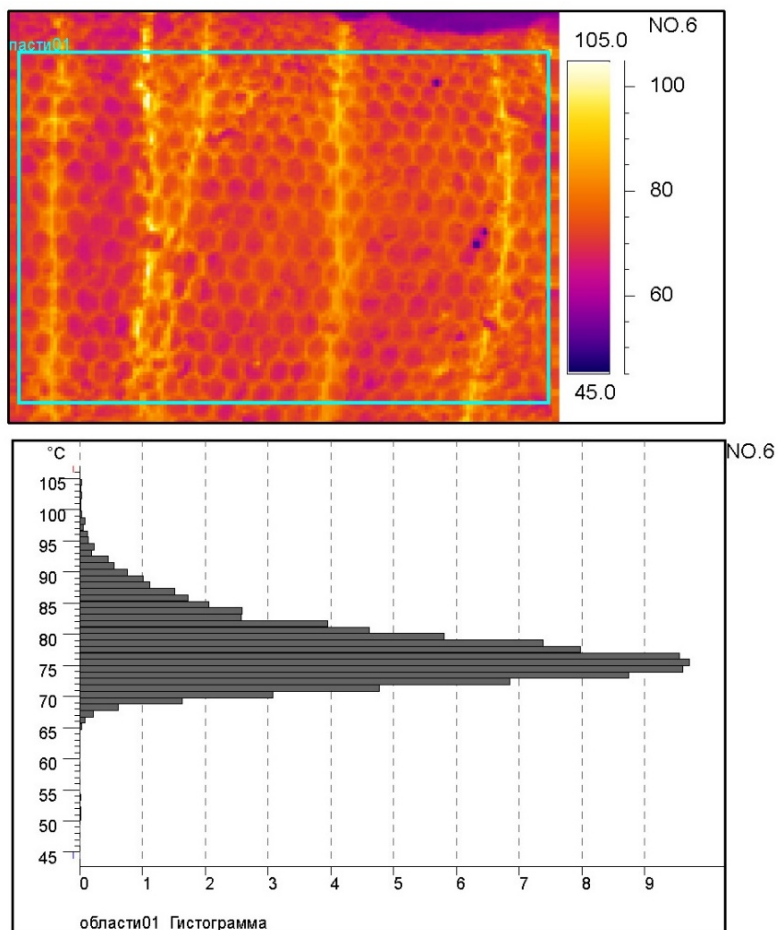


Рисунок 6. 8 - Термограма 7, зразок 2 (тепловізор TESTO)

Таблиця 6. 8 - Обробка термограми 7 (Рисунок 6. 8)

№	Найменування позиції	Ед. изм.	IV_06579.BMT													
1.	Температурна шкала	°C	45-105													
2.	Коефіцієнт випромінення		0,96					0,93					0,90			
3.	Відображена температура	°C	40	46	50	60		40	46	50	60		40	46	50	60
4.	Вологість	%	20,8					20,8					20,8			
5.	Зовнішня температура	°C	47,4					47,4					47,4			
6.	Точка роси	°C	19,4					19,4					19,4			
7.	Внутрішня температура	°C	47,4					47,4					47,4			
8.	Зовнішня температура	°C	30					30					30			
9.	Температура поверхні	°C														
	мінімум		61,9	61,7	61,6	61,2		62,6	62,2	61,9	61,2		63,3	62,7	62,3	61,3
	максимум		96,2	96	95,9	95,6		97,6	97,3	97,1	96,6		99,1	98,7	98,4	97,6
	середня (\bar{X})		75,3	75,1	75,0	74,6		76,2	75,9	75,7	75		77,3	76,8	76,4	75,5
	середнє квадратичне відхилення (σ)		3,8	3,8	3,8	3,9		3,9	3,9	3,9	4,0		4	4	4,1	4,1



Информация об изображении	Ценность
Созданная дата	2019-05-31
Созданное время	10:46:12
Имя файла	IR_199.JPG
Параметры	Ценность
Излучаемость	0.93
Расстояние до объекта	2.00m
Атмосфера	21%
Background	46.0°C
Анализ области	Ценность
области01Максимум	105.8°C
области01Минимум	50.5°C
области01Среднее число	76.8°C

NO.6

Рисунок В.8 Термограмма 8, зразок 2 (тепловізор DALI)

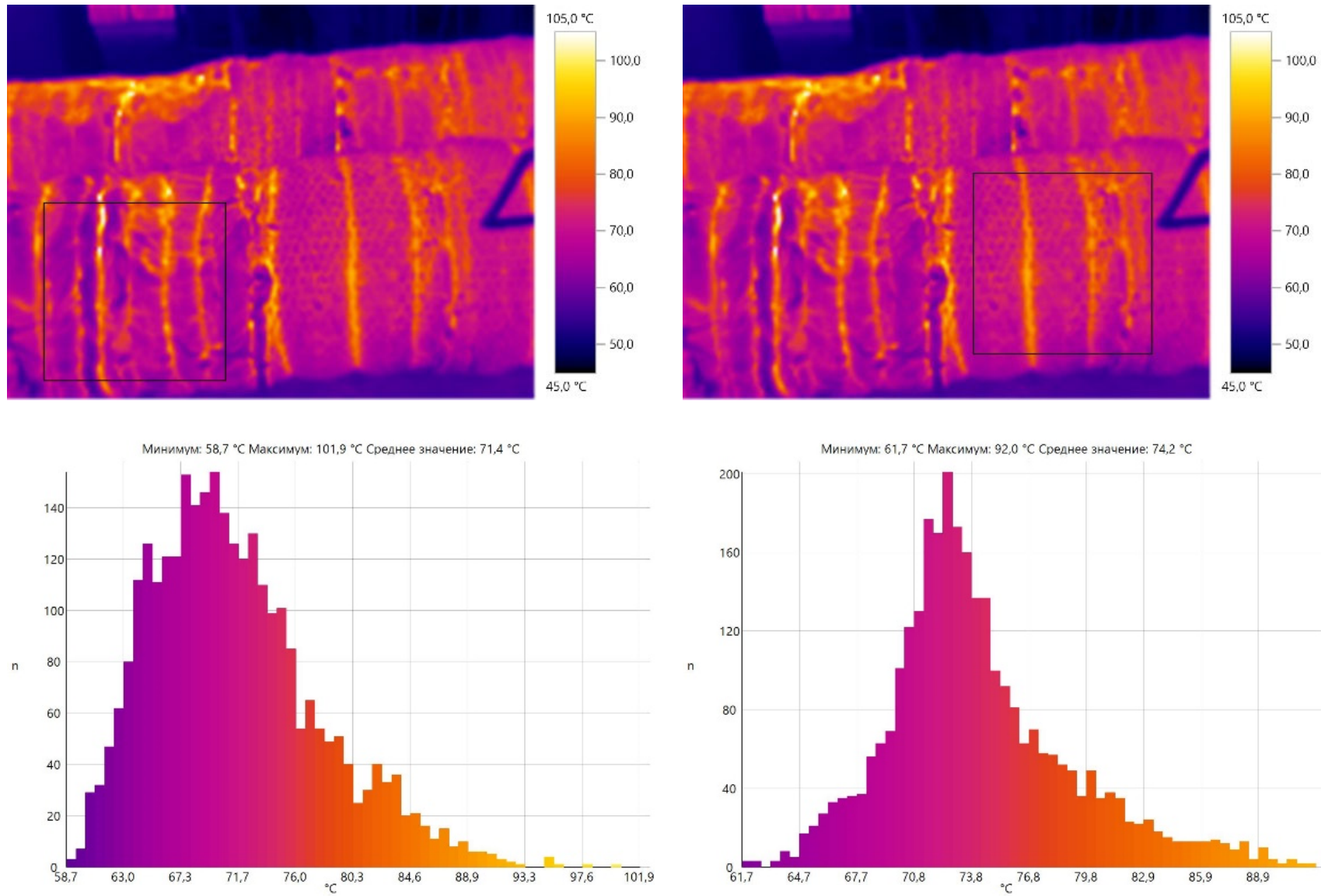


Рисунок 6. 9 - Ділянка термограми з двома зразками дослідних конструкцій (зліва – зразок 1, справа – зразок 2)

Таблиця 6. 9 – Результати випробувань теплової ізоляції

№ п/п	Вузол облад- нання	Конструкція теплової ізо- ляції і діаметр трубопро- вода	Температура теплоносія, °С	Площа, м ²	Середня товщина ізоля- ції, мм	Середня температура, °С			Питомі втрати теплоти, Вт/м		
						зовніш- нього повітря	повер- хні ізоля- ції	повер- хні ізо- ляції приве- дена	факти- чні (вимі- рянні)	при- ведені	нор- мати- вні
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Зразок 1	Збірну некомплектну конс- трукцію, виконана без пок- ривного шару. Основний теплоізоляційний шар – ру- лонний волокнистий мате- ріал – мати прошивні без- обкладкові (МТПБа) [164], толщина мата 70 мм, (D _n ·s) 382·70 мм	545	5,6	120	47,4	69,5	48,0	508	531*	480

продовження таблиці 6.9.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	Зразок 2	Збірну некомплектну конст-рукцію, виконано без покри-вного шару. Основний теп-лоізоляційний шар - рулон-ний волокнистий матеріал - мати ROCKWOOL PROROX WM 920 (PROWM920CZ-03 0751-CPR.2-039.1-01 MW-EN 14303-T2-ST(+)-500-WS1-CL10), товщина мата 70 мм, (D _n ·s) 382·70 мм.	545	5,6	120	47,4	76,0	54,9	693	725**	480

* - згідно з п. 8.6 [174], оскільки температура поверхні зразка 1 не перевищує нормативне значення 48 °С, а питомі значення втрат теплоті через ТІ вище нормативних на 11% (менше 15%), стан ТІ вважається задовільним, і за результатами досліджень можна скласти паспорт ТІ, дійсний на весь період до наступного капітального ремонту;

** - згідно з п. 8.6 [174], оскільки приведена температура поверхні зразка 2 становить 55 °С (перевищує нормативне значення 48 °С), а фактичні втрати теплоти перевищують нормативні на 51% (але потрапляють в діапазон 15-60%), на ТК може видаватися тимчасовий паспорт терміном на 1 рік, протягом цього періоду повинні бути усунені всі дефекти теплової ізоляції.

Таблиця 6. 10 - Вплив на характеристики дослідних теплоізоляційних конструкцій покривного шару

№ пп	Назва позиції	Позна- чення	Од. вим.	Значення	
				Зразок 1	Зразок 2
1.	Опір тепловіддачі зовнішньої поверхні	$R1$	$\text{м}^2\text{°C/Вт}$	0,136	0,130
2.	Термічний опір шару ТІ	$R2$	$\text{м}^2\text{°C/Вт}$	2,940	2,124
3.	Термічний опір покривного шару*	$R3$	$\text{м}^2\text{°C/Вт}$	0,031	
4.	Приведена температура оточуючого середовища	$t_{ambient}$	°C	25,0	
5.	Приведена температура поверхні дослідної конструкції	$t_{insulation}$	°C	48,0	54,9
6.	Приведена лінійна густина теплового потоку	q_L	Вт/м	531	725
7.	Приведена лінійна густина теплового потоку через конструкцію з покривним шаром	q^*_L	Вт/м	526	715
8.	Приведена температура поверхні дослідної конструкції з покривним шаром	$t^*_{insulation}$	°C	47,8	54,5
9.	Перевищення фактичної величини теплового потоку над економічно обґрунтованою величиною		$\%$	9,5	49,0
* - покривний шар виконано з азбестоцементної шпукатурки товщиною 0,02 метри.					

Зразок 1 дослідної теплоізоляційної конструкції задовольняє вимогу максимальної температури поверхні – приведена температура поверхні зразка становить 48 °С, та вимогу економічної густини теплового потоку – приведена питома втрата теплоти через конструкцію перевищує нормативне значення на 11% (менше 15%), та становить 531 Вт/м, стан ізоляції вважається задовільним і на неї може бути складений паспорт (п. 8.6, [174]).

Зразок 2 дослідної теплоізоляційної конструкції не задовольняє вимогу максимальної температури поверхні – приведена температура поверхні зразка становить 54,9 °С, та перевищує допустиму температуру поверхні на 6,9 °С. Фактичні втрати теплоти з поверхні зразка перевищують нормативне значення економічної густини теплового потоку на 51% (попадають до діапазону значень 15-60%) та становлять 725 Вт/м. На дослідну теплоізоляційну конструкцію може видаватися тимчасовий паспорт терміном на 1 рік, протягом цього періоду повинні бути усунені всі дефекти теплової ізоляції (п. 8.6, [174]).

Врахування покривного шару на незначну величину покращує теплозахисні властивості дослідних конструкцій. Для зразка 1 приведена температура поверхні дослідної конструкції становитиме 47,8 °С, приведені втрати теплоти з поверхні зразка – 528 Вт/м, перевищення фактичної величини теплового потоку над економічно обґрунтованою величиною складе 9,5%. Для зразка 2 приведена температура поверхні становитиме 54,5 °С, приведені втрати теплоти з поверхні зразка – 715 Вт/м, перевищення фактичної величини теплового потоку над економічно обґрунтованою величиною складе 49%. Одержані результати не відмінюють висновків, зроблених вище, стосовно ефективності роботи дослідних зразків теплоізоляційних конструкцій.

Варіювання величинами коефіцієнту випромінення та відображеної температури (*reflect temperature*) поверхні призводить до зміни величини вимірної температури поверхні ТІ. Зменшення величини коефіцієнту випромінення поверхні призводить до збільшення величини вимірної температури поверхні ТІ. Величина зміни вимірної температури поверхні ± 1 °С (діапазон зміни коефіцієнту

випромінення 0,96-0,90). Збільшення величини відображеної температури поверхні призводить до зменшення величини виміряної температури поверхні ТІ. Величина зміни виміряної температури поверхні $\pm 0,35$ °С (діапазон зміни відображеної температури поверхні 40-60 °С). Зміна характеристик поверхні дослідної системи не призводить до якісної зміни основних показників ефективності дослідної теплоізоляційної конструкції. Висновки, що зроблено при фіксованих середніх значеннях коефіцієнту випромінення та відображеної температури поверхні залишаються актуальними для всього діапазону їх зміни.

6.1.3. Результати досліджень теплоізоляційних конструкцій на Бурштинській ТЕС

За аналогією з дослідженнями проведеними на Слов'янській ТЕС, метою робіт, проведених на Бурштинській ТЕС, була оцінка ефективності роботи модернізованих ТК виконаних з волокнистих матеріалів з різною номінальною густиною. Для порівняння ефективності роботи модернізованих ТК в дослідженні використовувалася тестова теплоізоляційна конструкція виконана з волокнистого матеріалу на синтетичному зв'язуючому (*зразок 3*). Вивчалися три групи зразків – мати МТПБа, номінальною густиною 30 кг/м³, товщиною 80 мм в кількості 3 м³ (*зразок 1, МТПБа 30*); мати МТПБа, номінальною густиною 40 кг/м³, товщиною 80 мм в кількості 3 м³ (*зразок 2, МТПБа 40*); мати ROCKWOOL TEX MAT, номінальною густиною 43 кг/м³, товщиною 80 мм в кількості 3 м³ (*зразок 3, TEX MAT*). Дослідні зразки ТК встановлювалися на станційних трубопроводах – паропроводі гарячого промперегріву (ПП), паропроводі свіжої пари (СП).

Місце розташування ділянки трубопроводу, що підлягала ізоляції:

зразок 1 – відмітка +29,0 м, паропровід СП,

зразок 2 – відмітка +9,6 м, паропровід гарячого ПП,

зразок 3 – відмітка +9,6 м, паропровід гарячого ПП.

Діаметр дослідної ділянки трубопроводу Дн·s:

зразок 1 – 325·38 мм;

зразок 2 – 426·19 мм;

зразок 3 – 426·19 мм.

Параметри теплоносія (температура/тиск надлишковий):

зразок 1 – 545 °С/145 атн;

зразок 2 – 545 °С/22,5 атн;

зразок 3 – 545 °С/22,5 атн.

Тривалість роботи трубопроводу протягом року (діб/годин):

зразок 1 – до 6000 годин (>5000 годин);

зразок 2 – до 6000 годин (>5000 годин);

зразок 3 – до 6000 годин (>5000 годин).

Результати обстеження стану дослідних теплоізоляційних конструкцій подано в зведеній таблиці (Таблиця 6. 11).

Таблиця 6. 11 - Результати обстеження стану дослідних теплоізоляційних конструкцій

№ ПП	Найменування позиції	Зразок 1 МТПБа, густина 30 кг/м куб. (ТУ У В.2.7-23.9-00292818- 001:2012)	Зразок 2 МТПБа, густина 40 кг/м куб. (ТУ У В.2.7-23.9-00292818- 001:2012)	Зразок 3 ТЕХ МАТ, густина 43 кг/м куб. (ТУ 5762-050-45757203-15)
1	2	3	4	5
1.	Характеристика трубопроводу			
	- найменування	паропровід СП	паропровід гарячого ПП	паропровід гарячого ПП
	- положення	криволі- нійна діля- нка	вертикальна ділянка	вертикальна ділянка

Продовження таблиці 6.11

1	2	3	4	5
	- параметри теплоносія	545 °С, 145 атн.	545 °С, 22,5 атн.	545 °С, 22,5 атн.
	- зовнішній діаметр трубопроводу	325 мм	426 мм	426 мм
2.	Середня температура середовища навколо дослідної ділянки	42,6 °С	52,5 °С	52,5 °С
3.	Середня температура поверхні дослідної теплоізоляційної конструкції	59,1 °С	68,9 °С	84,0 °С
4.	Середня товщина теплоізоляційного шару	118 мм	187 мм	111 мм
5.	Коефіцієнт ущільнення	1,5	1,2	1,4
6.	Розрахункові значення тепловтрат через дослідну теплоізолювану поверхню*			
	Вт/м	247	350	545
	Вт/м кв.	140	139	268

* - розрахунки проведено згідно вимог та рекомендацій нормативних джерел та галузевих методичних вказівок [169, 174].

Зовнішні вигляди ділянок трубопроводів з дослідними зразками теплоізоляційних конструкцій наводиться нижче (Рисунок 6. 10 - Рисунок 6. 12).



Рисунок 6. 10 - Зразок 1 (МТПБа 30), паропровід СП, відм. +29,0 м.



(а)



(б)

Рисунок 6. 11 - Вигляд ділянки з неущільненим (а) та ущільненим (б) зразком 2 (МТПБа 40).



Рисунок 6. 12 - Зразок 2, МТПБа 30 (праворуч), зразок 3, ТЕХ МАТ (ліворуч), паропроводи гарячого ПП, відм. +9,6 м.

Досліджувалася динаміка температур поверхонь дослідних ТК протягом періоду підконтрольної експлуатації, та залежність температури поверхні дослідної конструкції від температури зовнішнього середовища (Таблиця 6. 12, Рисунок 6. 13).

Таблиця 6. 12 - Результати вимірювань температури зразків дослідних теплоізоляційних конструкцій

№ ПП	Найменування позиції	Позначення	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
Вимірювання від 21.09.2017 року					
1	Середня температура поверхні теплоізоляційної конструкції	t_i	44,1	60,3	71,7
2	Середня температура зовнішнього середовища	t_e	36,9	44,0	44,0
Вимірювання від 30.11.2017 року					
3	Середня температура поверхні теплоізоляційної конструкції	t_i	37,2	52,7	65,3
4	Середня температура зовнішнього середовища	t_e	24,0	36,3	36,3

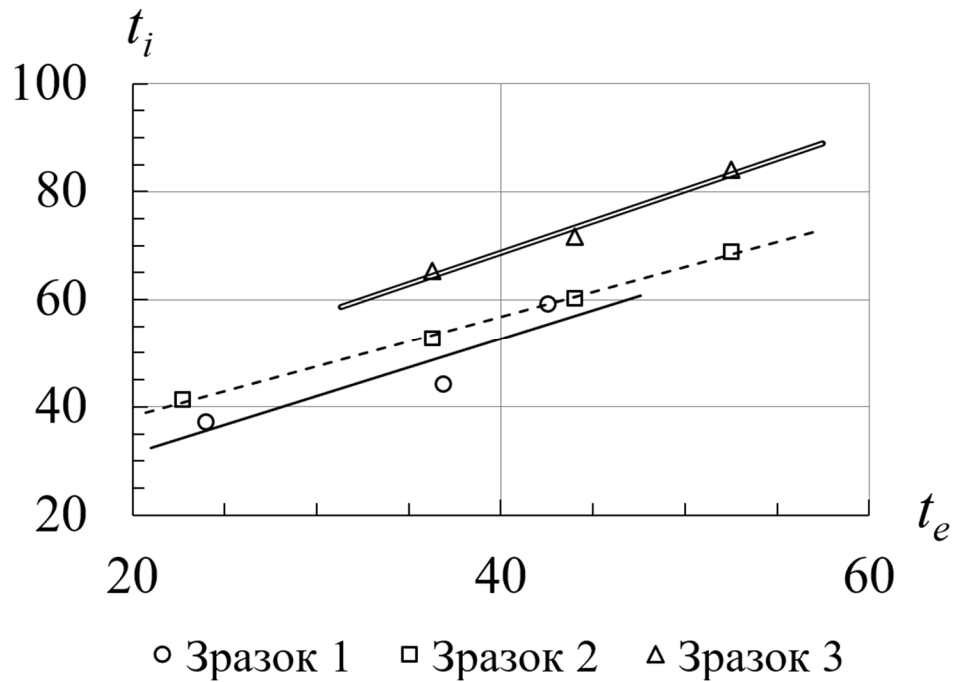


Рисунок 6. 13 - Залежність температури поверхні t_i (°C) від температури зовнішнього середовища t_e (°C).

З метою перевірки теплотехнічних та експлуатаційних характеристик ТК трубопроводу з матеріалів з різною густиною (зразок 1 та зразок 2), було створено дослідну ділянку, та проведено її промислово підконтрольну експлуатацію. Дослідну ділянку створено на блоці №11, трубопровід свіжої пари (СП), відмітка +33 метра, Ø325x38 мм, температура та тиск теплоносія 545 °C, 140 атн. Зовнішній вигляд дослідної ділянки наводиться нижче (Рисунок 6. 14). В якості зразків теплоізоляційних матеріалів використовуються мати прошивні без обкладки [164] МТПБа густиною 30 (зразок 1) та 40 кг/м³ (зразок 2), шириною 1000 мм та товщиною 80 мм. На теплоізоляційній конструкції мати вкладаються в 3 шари. Зовнішній шар конструкції оштукатурено азбесто-цементним розчином товщиною до 30 мм. Монтаж конструкції проведено 27.12.2018 року.

В період підконтрольної експлуатації вимірюються геометричні розміри та температури теплоізоляційної конструкції, як функції від часу та від параметрів зовнішнього середовища.

Тепловізійна зйомка, вимірювання геометричних розмірів та температур на дослідній ділянці проводились 14.03.2018 року.

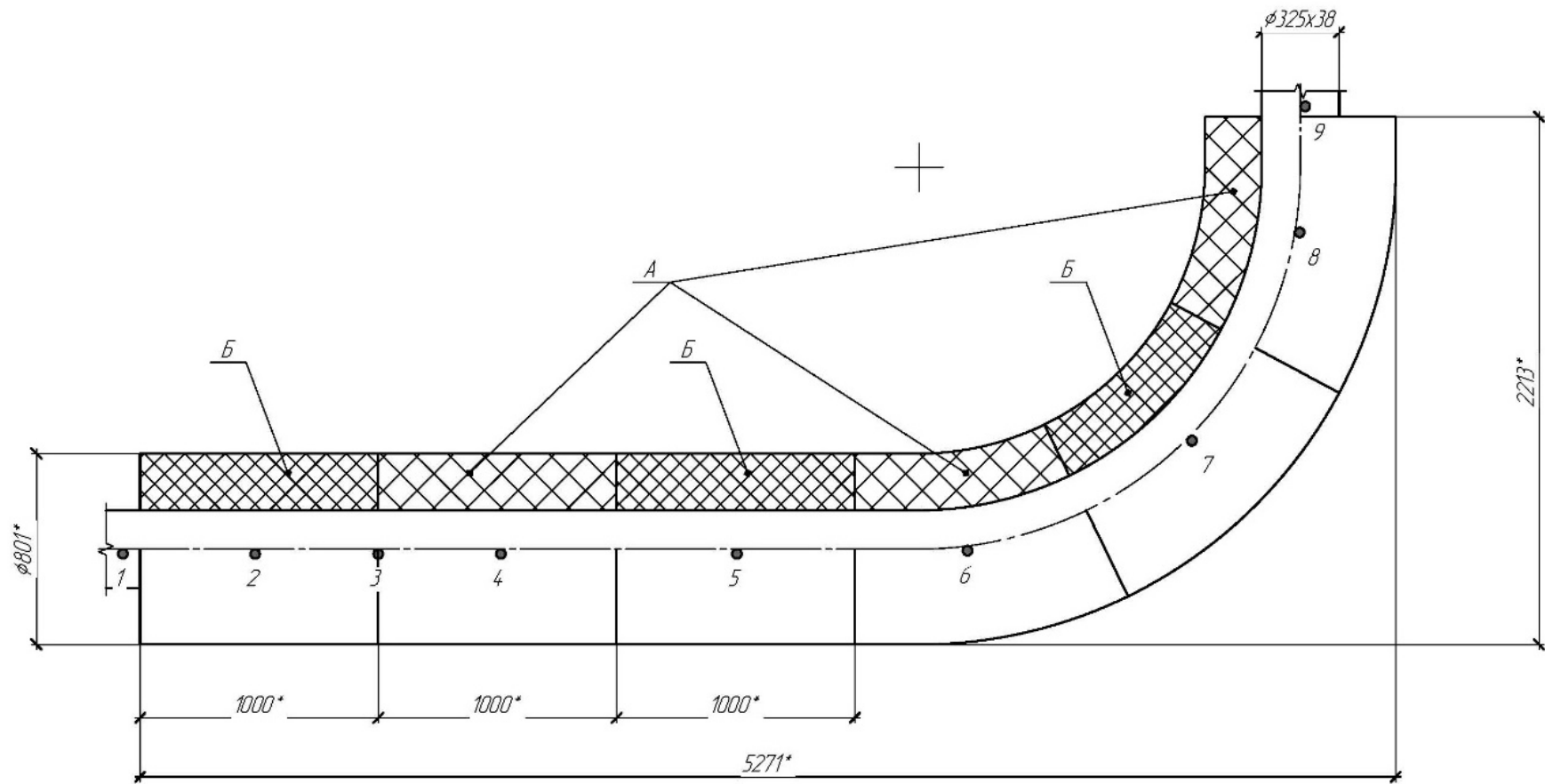


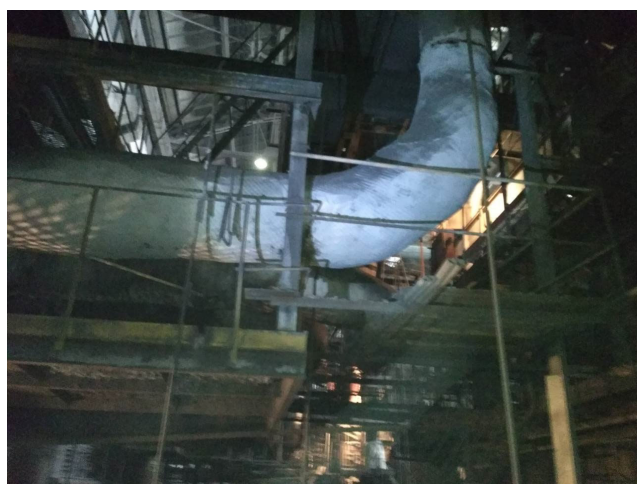
Рисунок 6. 14 – Ескіз ділянки трубопроводу з експериментальною теплоізоляційною конструкцією:
 А – ділянки конструкції теплоізолювані зразками з густиною 30 кг/м куб.;
 Б – ділянки, теплоізолювані зразками густиною 40 кг/м куб.;
 1-9 точки в яких вимірювалась температура.

Таблиця 6. 13 - Зведена таблиця результатів вимірювань

Позначення	Температури поверхонь теплоізоляційної конструкції, °С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1 група вимірювань	44,4	39,9	37	39	43,5	41,9	45,5	47,9	51,3	
2 група вимірювань	44,2	43,5	43,7	42,6	41,4	42	44,8	43,9	47	
Ср. знач.	44,3	41,7	40,4	40,8	42,5	42,0	45,2	45,9	49,2	
Середнє значення температури теплоізоляційної конструкції, °С										42,6
Ср. кв. відхилення, °С										2,8
Відносна похибка, %										6,5



а)



б)

Рисунок 6. 15 - Фото трубопроводу свіжої пари з дослідною теплоізоляційною конструкцією: а) прямолінійна ділянка; б) криволінійна ділянка.

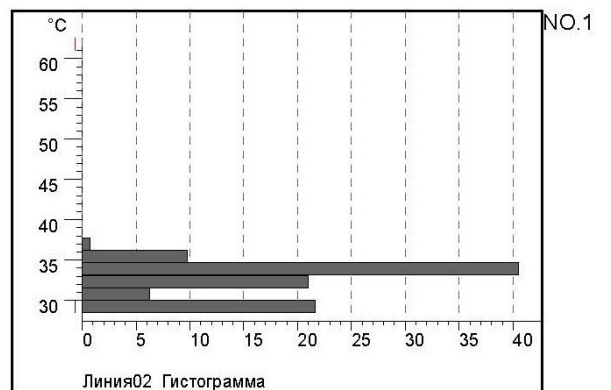
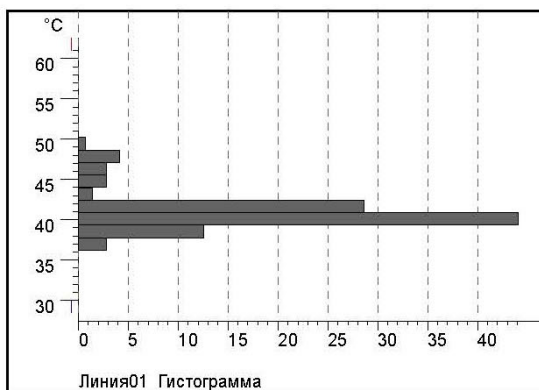
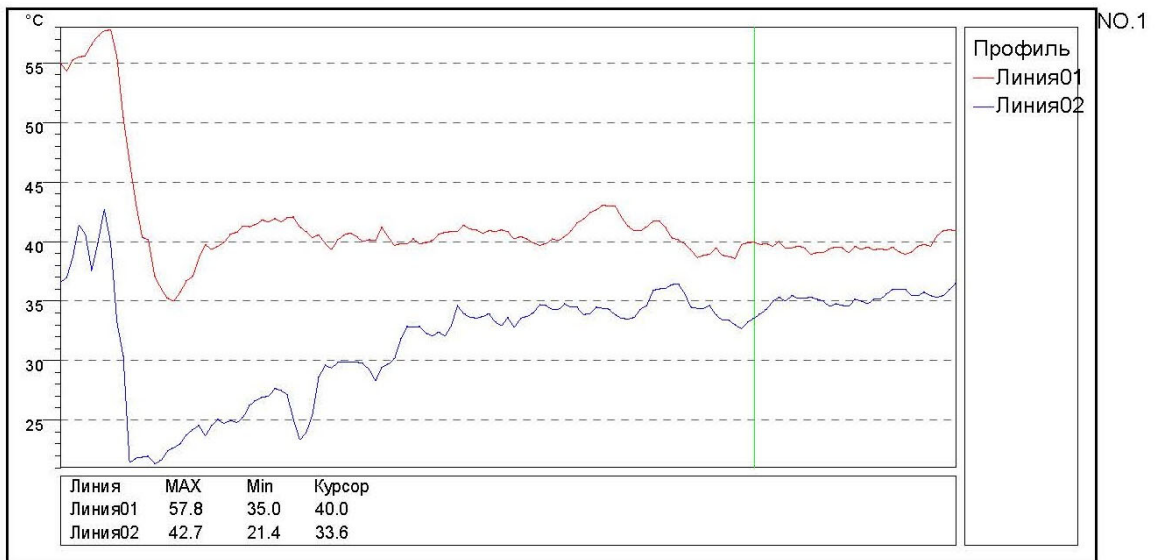
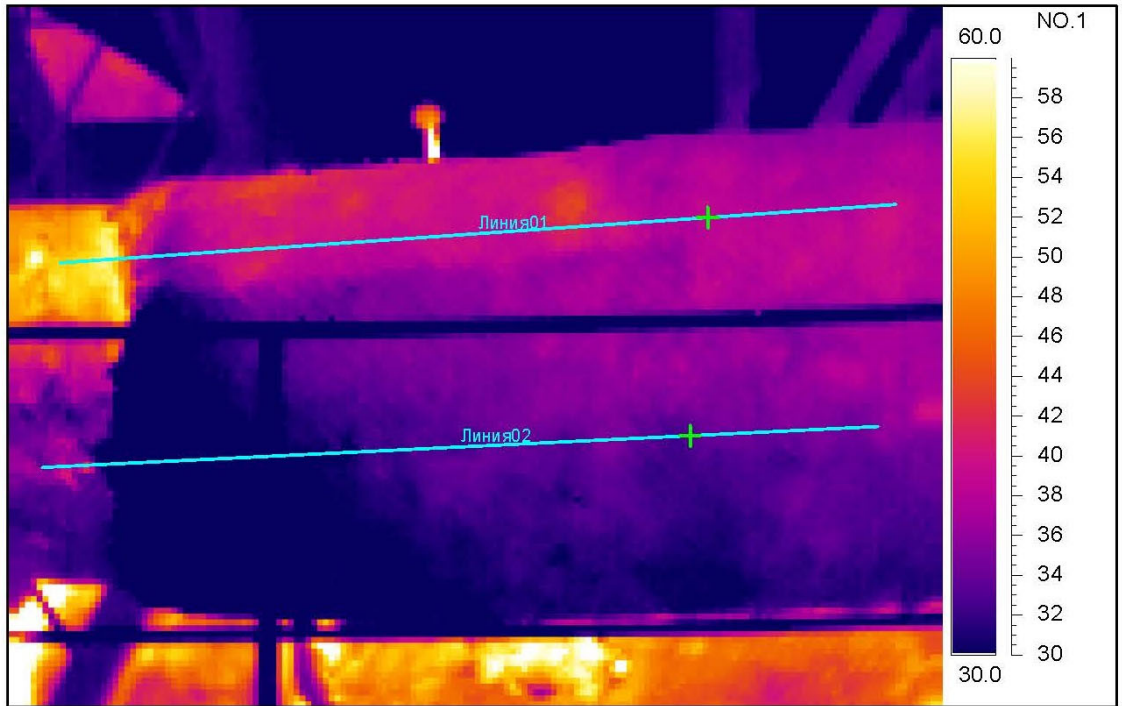


Рисунок 6. 16 - Термограма №1 дослідної ділянки теплоізоляційної конструкції.

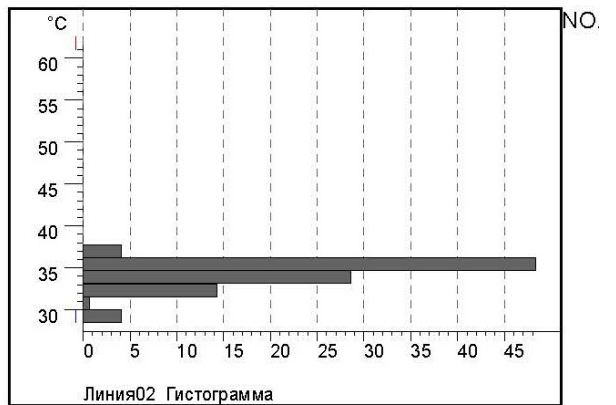
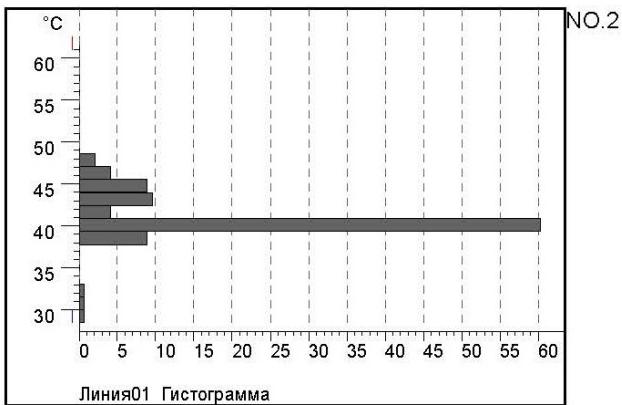
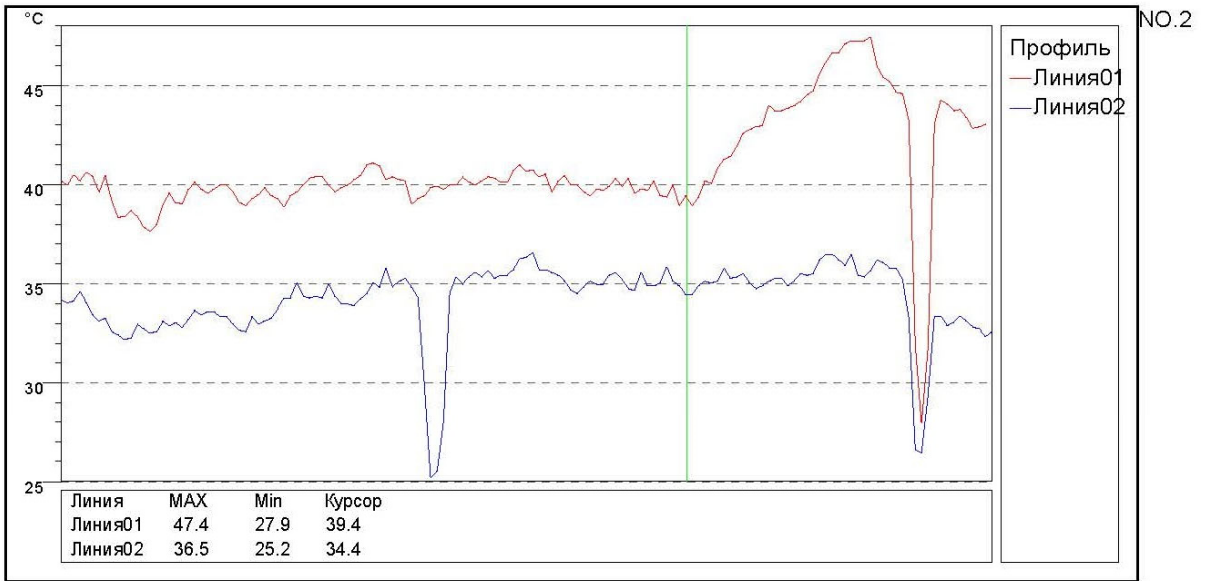
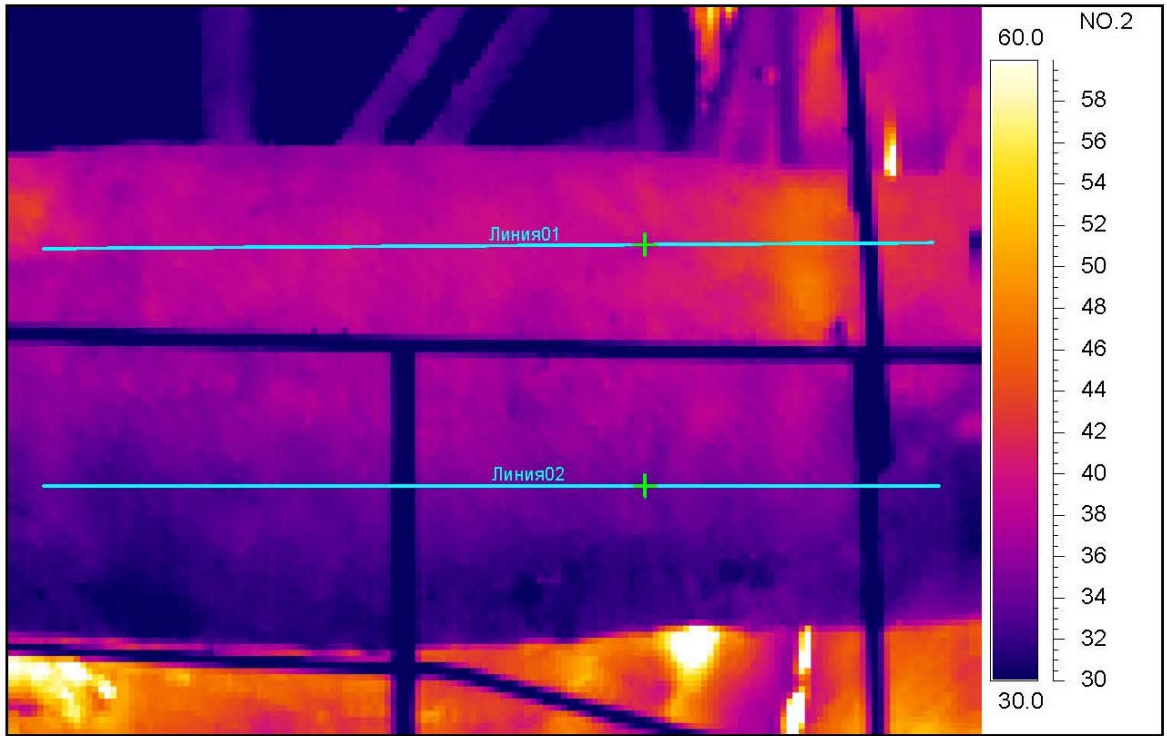


Рисунок 6. 17 - Термограма №2 дослідної ділянки теплоізоляційної конструкції.

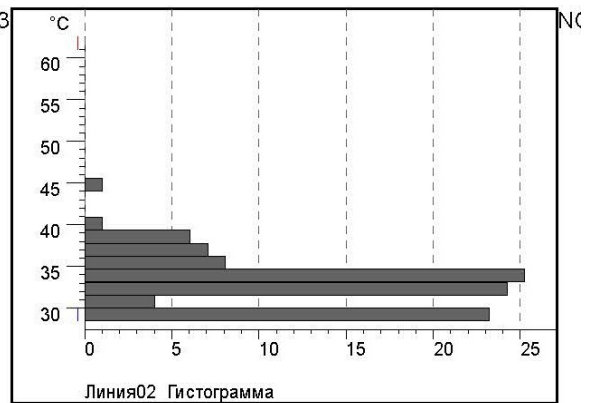
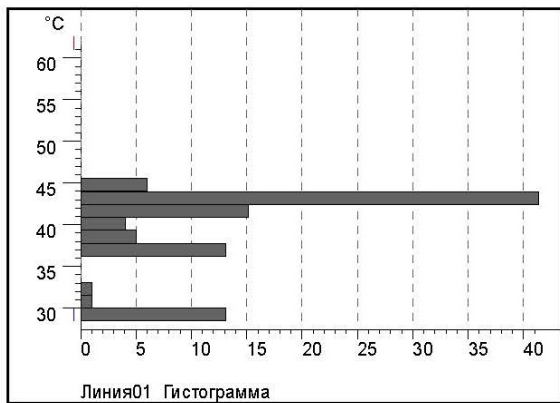
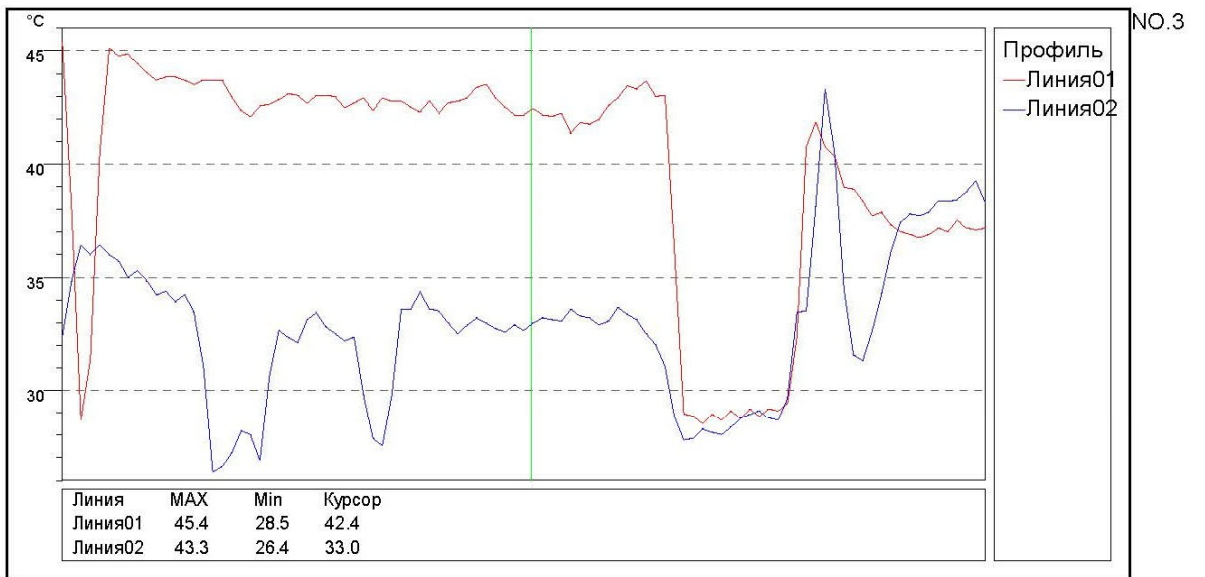
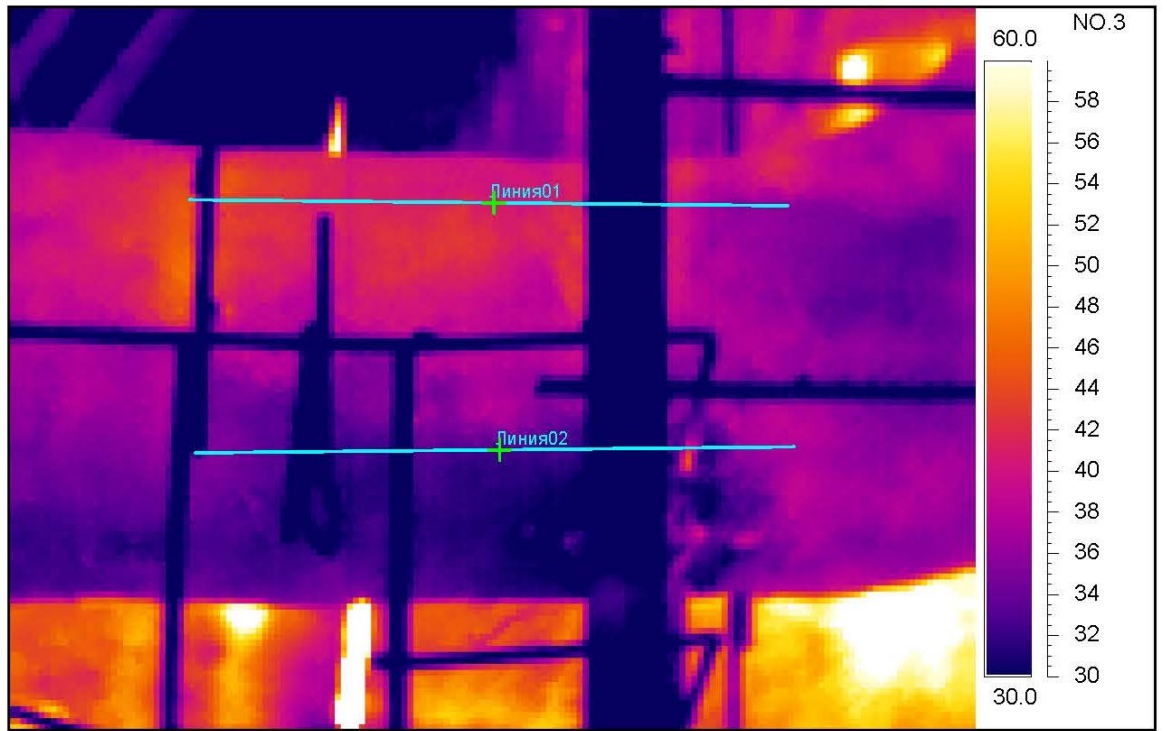


Рисунок 6. 18 - Термограма №3 дослідної ділянки теплоізоляційної конструкції.

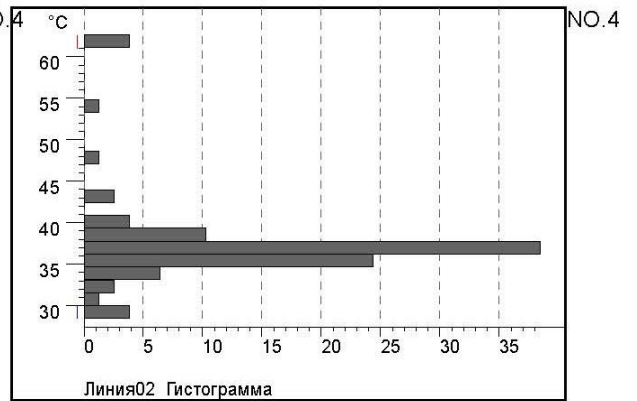
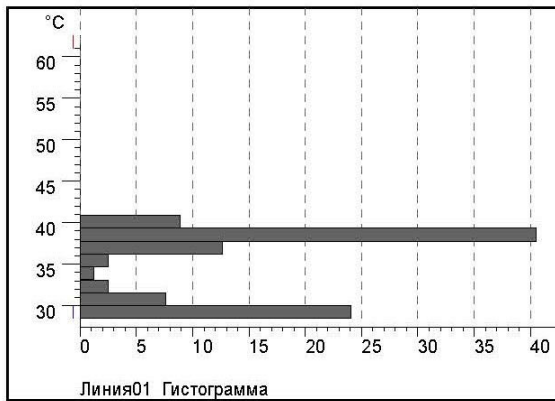
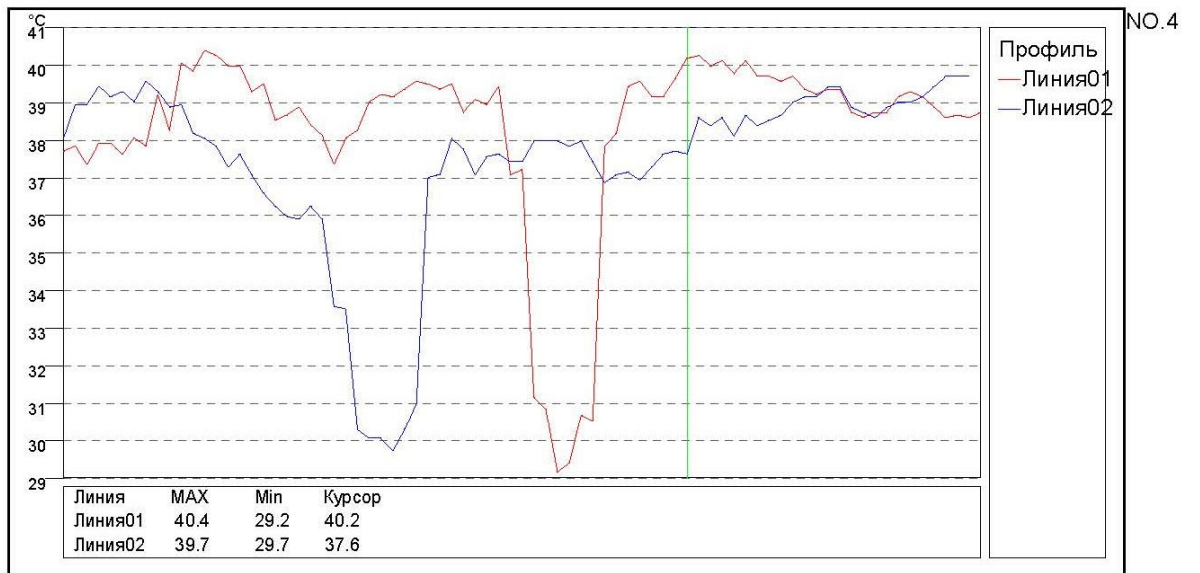
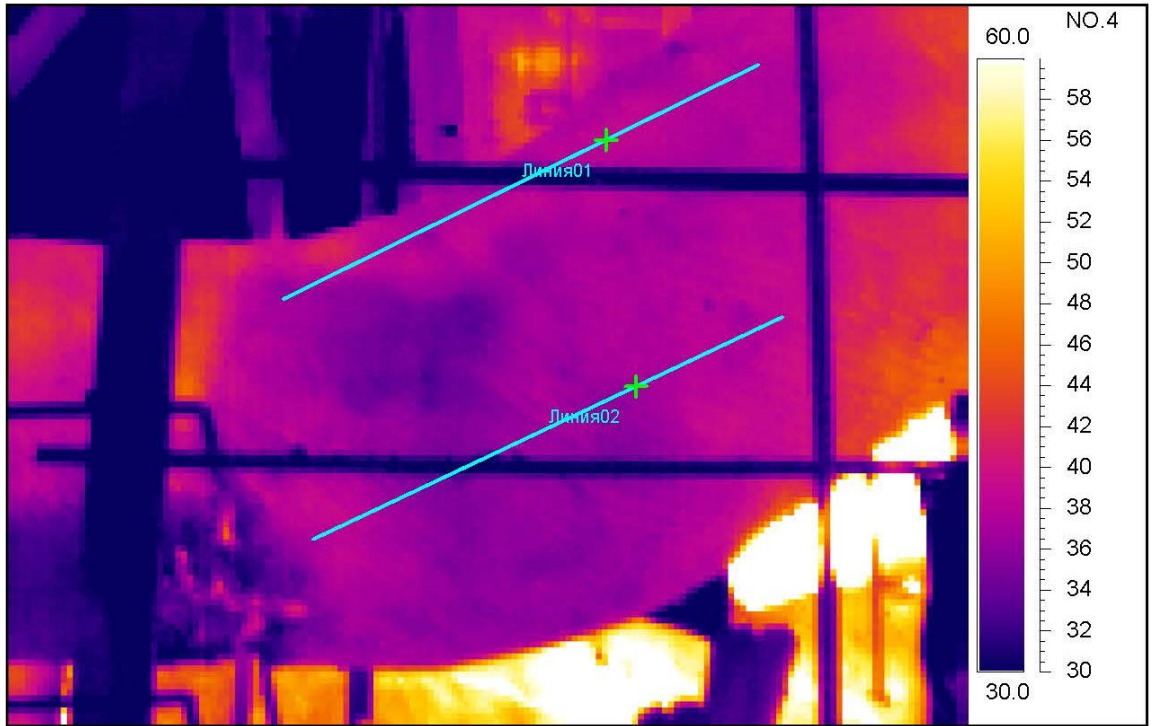


Рисунок 6. 19 - Термограма №4 дослідної ділянки теплоізоляційної конструкції.

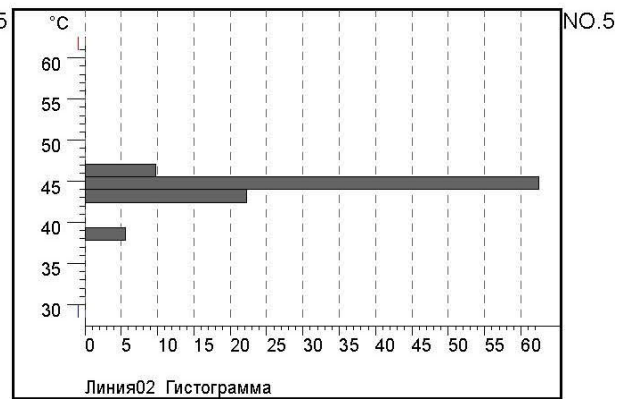
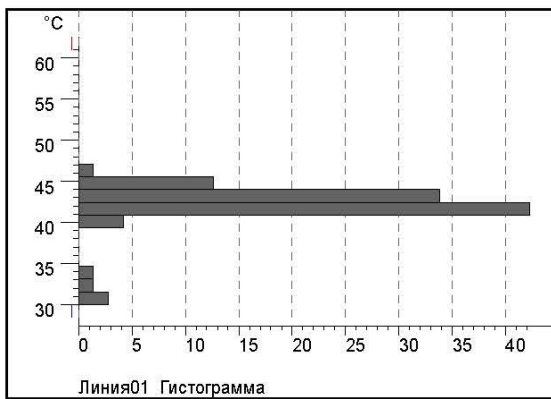
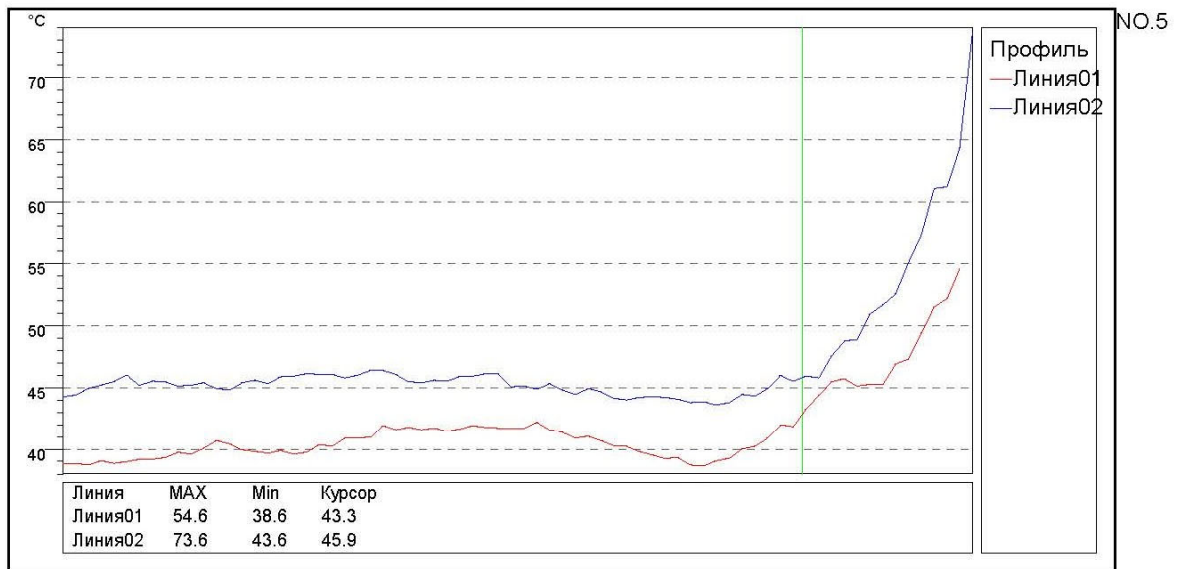
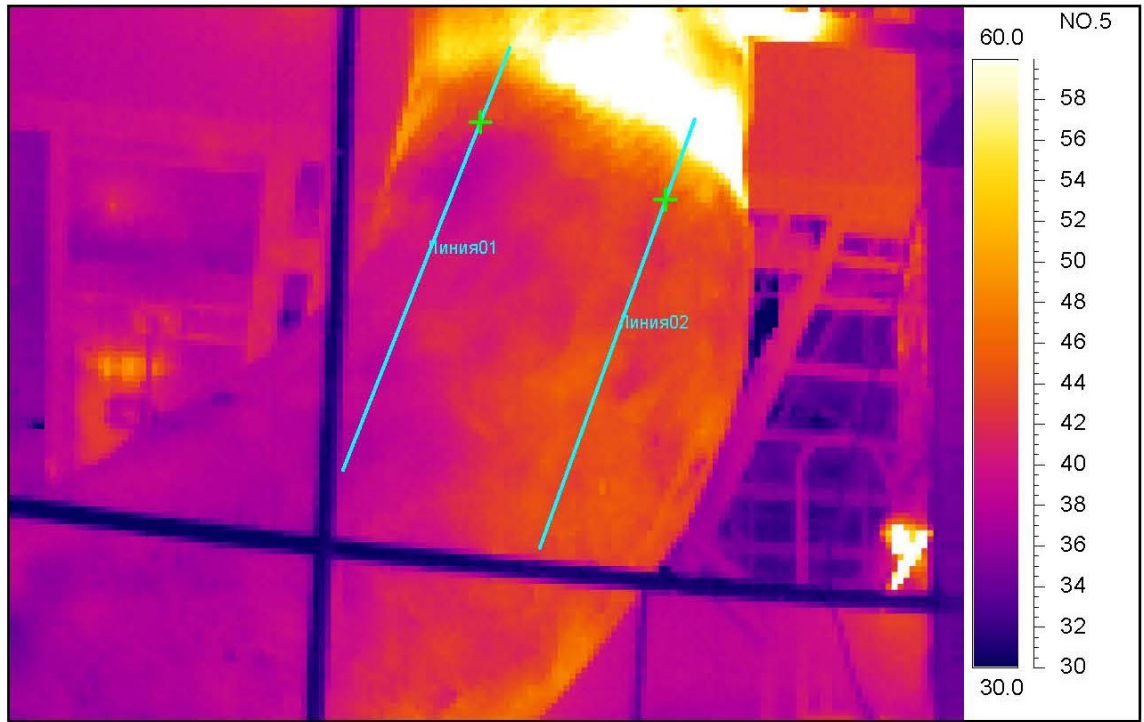


Рисунок 6. 20 - Термограма №5 дослідної ділянки теплоізоляційної конструкції.

При обробці термограм приймалися наступні параметри об'єкту:

- випромінююча здатність 0,96;
- відстань до об'єкту 7 м;
- відносна вологість повітря 60%;
- температура зовнішнього повітря (Таблиця 6. 14);
- температура огорожуючих поверхонь (Таблиця 6. 15);
- базова температура 30 °С;
- реферна температура 33 °С.

Таблиця 6. 14 - Температура зовнішнього повітря

Назва позиції	Результати вимірювань				
	1	2	3	4	5
Температура зовнішнього середовища, °С	21,7	21,9	22,7	23,6	23,6
Середнє значення температури зовнішнього повітря, °С					22,7
Ср. кв. відхилення, °С					0,90
Відносна похибка, %					4,0

Таблиця 6. 15 - Температура огорожуючих поверхонь

Назва огорожуючої поверхні	Результати вимірювань, °С				
	1	2	3	4	Середнє значення
Підлога	40,2	39,6	41,6		40,5
Бічні поверхні будівельних конструкцій	29,6	32,6	40,8	43,7	36,7
Бічна поверхня котлоагрегату	54	46,8	62,5	69,2	58,1
Стеля	37	36,1	39,8	40,2	38,3

Таблиця 6. 16 - Товщина теплоізоляційної конструкції

Назва позиції	Товщина теплоізоляційної конструкції*, м					
	1	2	3	4	5	
Довжина окружності (L)	2,51	2,57	2,6	2,46	2,45	
Діаметр конструкції (D)	0,799	0,818	0,828	0,783	0,780	
Товщина конструкції (S)	0,237	0,247	0,251	0,229	0,227	
Середнє значення товщини теплоізоляційної конструкції, м						0,238
Ср. кв. відхилення, м						0,011
Відносна похибка, %						4,4

* - товщина теплоізоляційної конструкції складається з шару теплоізоляційного матеріалу, шару армувальної сітки та шару азбесто-цементного розчину.

Встановлено, що:

1. Температури зовнішніх поверхонь теплової ізоляції *зразків 1 (МТПБа 30) та 2 (МТПБа 40)* задовольняють нормативній вимозі до максимальної температури поверхні, що розташована за межами робочої або зони яка обслуговується ($\leq 75^{\circ}\text{C}$).

2. Температура зовнішньої поверхні *зразка 3 (ТЕХ МАТ)* не задовольняє нормативній вимозі та перевищує допустиму максимальну температуру в 1,12 рази ($84^{\circ}\text{C} > 75^{\circ}\text{C}$).

3. Коефіцієнти ущільнення дослідних *зразків 1-3* теплоізоляційних конструкцій дорівнюють значенням 1,5 (*МТПБа 30*); 1,2 (*МТПБа 40*) та 1,4 (*ТЕХ МАТ*), відповідно.

4. Питомі тепловтрати приведені до одиниці поверхні теплоізоляційної конструкції для *зразка 3 (ТЕХ МАТ)* в 1,9 більші ніж значення одержані для *зразків 1 (МТПБа 30) та 2 (МТПБа 40)* – 268 Вт/м кв. проти 140 та 139 Вт/м кв., відповідно.

5. При монтажі теплоізоляційної конструкції на поверхню трубопроводу структура і цілісність *зразків 1 (МТПБа 30) та 2 (МТПБа 40)* зберігалися – були

відсутні розриви теплоізоляційного шару, властивості поверхні залишалися однорідними. При монтажі зразка 3 (TEX MAT) виникали розриви теплоізоляційного шару. Внаслідок цього порушувалася однорідність його властивостей, ускладнювався монтаж.

6. Температури зовнішнього середовища в місцях встановлення зразків теплоізоляційних конструкцій відрізняються між собою, та від розрахункової величини 20 °С, і залежать від сезонних змін.

7. Середня температура поверхні теплоізоляційної конструкції залежить від температури зовнішнього середовища в якому вона знаходиться (Рисунок 6. 13). В діапазоні температур зовнішнього середовища, який спостерігався, температури дослідних зразків 1 та 2 знаходилися в діапазоні 30-70 °С, що задовольняє нормативним вимогам ($\leq 75^{\circ}\text{C}$). Температура поверхні зразка 3 задовольняє нормативним вимогам лише частково.

8. Фактична товщина теплоізоляційної конструкції зразка 2 в 1,14 рази перевищує своє розрахункове значення, визначене за умовою забезпечення нормативної щільності теплового потоку.

9. Фактична товщина теплоізоляційної конструкції зразка 1 відповідає своєму розрахунковому значенню, обчисленому за умовою забезпечення нормативної температури на її поверхні при температурі зовнішнього середовища 20 °С. З метою досягнення розрахункового значення товщини зразка 1, визначеного за умовою забезпечення нормативної щільності теплового потоку, його фактична товщина має бути збільшена в 1,31 рази.

10. З метою перевірки теплотехнічних та експлуатаційних характеристик теплоізоляційних конструкцій виконаних з матів МТПБа різної густини, прийнято рішення додатково встановити декілька зразків ізоляційних конструкцій в однакових зовнішніх виробничих умовах.

11. Форма теплоізоляційної конструкції відрізняється від циліндричної. Товщина конструкції змінюється як по її довжині, так і за перерізом. Середнє значення товщини шару теплоізоляційної конструкції становить 238 мм (середнє квадратичне відхилення – 11 мм).

12. По всій довжині дослідної ділянки її температура відповідає нормативним вимогам, та не перевищує 43 °С.

13. Спостерігається різниця температур поверхні теплоізоляційної конструкції від ділянки з густиною теплоізоляційного шару 40 кг/м куб., до ділянки з густиною 30 кг/м куб. Величина різниці температур становить 4 °С.

14. Спостерігається зміна температур поверхні теплоізоляційної конструкції за її поперечним перерізом. Температура монотонно збільшується від нижньої частини перерізу до верхньої. Різниця в температурах нижньої та верхньої частин конструкції досягає 10 °С.

15. На криволінійній ділянці конструкції (Рисунок 6. 15), що обернена до гарячої бічної поверхні котлоагрегату (середня температура поверхні котлоагрегату 58 °С) спостерігається підвищення температури теплоізоляційної поверхні, в середньому на 5 °С вище від температури на інших ділянках.

6.2. Зовнішня теплова ізоляція адміністративного корпусу ІТТФ НАН України

6.2.1. Оцінка впливу додаткового шару утеплення методом скріпленої теплоізоляції на зменшення тепловтрат будівлі

В рамках програми з термомодернізації існуючого фонду житла, та з метою обґрунтування шляхів зменшення теплоспоживання (за умов дотримання належних санітарно-гігієнічних норм та підвищення рівня теплового комфорту) за рахунок зменшення тепловтрат через впровадження оптимальних варіантів теплоізоляційних огорожувальних будівельних конструкцій, в Інституті технічної теплофізики НАН України була проведена часткова реконструкція будівлі корпусу №1 по вул. Булаховського 2 (м. Київ) [155-158, 170, 171]. Об'єктом дослідження при цьому стала теплоізолююча спроможність огорожувальних конструкцій (ОК) будівлі, при заміні старих віконних конструкцій на сучасні енергоефективні віконні конструкції з енергозберігаючими склопакетами та встановленні на зовнішніх поверхнях огорож різноваріантних теплоізоляційних покриттів з системою утеплення з армованим штукатурним шаром (Рисунок 6. 21, Рисунок 6. 22). Для зменшення впливу сонячної радіації на температурний режим приміщень, а

також для виключення впливу даху без горища та підлоги без підвального приміщення, заходи з термомодернізації проводилися на північній стороні другого поверху будівлі, що розглядається.



Рисунок 6. 21 - Частина експериментальної ділянки стіни з різноваріантної термомодернізації будівлі

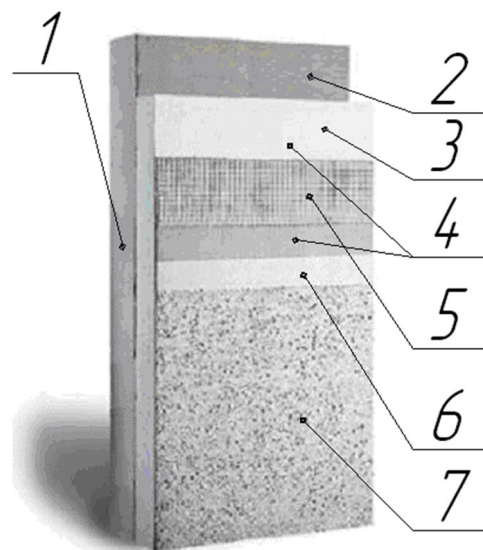


Рисунок 6. 22 - Система утеплення з армованим штукатурним шаром:

1 – зовнішня ОК; 2 – клейовий розчин для теплоізоляційного матеріалу; 3 – теплоізоляційний матеріал (додатково може використовуватись дюбелювання); 4 – клейовий розчин для армуючої сітки; 5 – армуюча сітка; 6 – ґрунтування; 7 – фасадна штукатурка (додатково покривається фарбою).

Для визначення тепловтрат через досліджувану ділянку ОК будівлі корпусу №1 після термомодернізації розроблено та встановлено вимірювальний комплекс, за допомогою якого в режимі реального часу визначаються густини теплових потоків на поверхнях та температурні показники цих поверхонь. Кількісна оцінка тепловтрат, їх аналіз, а також інші теплотехнічні характеристики ОК

після проведення термомодернізації будівлі визначаються шляхом встановлення перетворювачів теплових потоків (ПТП-ПТО) та мідних термометрів опору (МТО) ТСМ-205.

Внаслідок того, що температурне поле ОК, а також розподіл густини теплового потоку по їх поверхням суттєво нерівномірні, ПТП-ПТО та МТО встановлюються на внутрішніх, зовнішніх поверхнях стін (між стіною та утеплювачем), а також на зовнішній поверхні утеплювача. ПТП-ПТО та МТО розташовуються один поряд з іншим на одній вісі, перпендикулярній поверхні стіни. Зазначені датчики об'єднуються в одиничну вимірювальну систему (ОВС). Через мідний провід МГТФе $2 \times 0,12$ ПТП підключаються до восьмиканальних аналого-цифрових перетворювачів “Експерт”, а ПТО й МТО – до приладів вимірювання і контролю температури “УКТ-38”. Всі датчики через вторинні пристрої та конвертор USB в RS-232/422/485 з автоматичним контролем за напрямком передавання даних з'єднуються з персональним комп'ютером. При цьому за допомогою спеціального програмного забезпечення отримані дані автоматично опрацьовуються в режимі реального часу для їх подальшого аналізу. Принципова схема збору та обробки інформації з вимірювальних датчиків представлена нижче (Рисунок 6.27).

При теплових дослідженнях ділянки ОК з різноваріантною термомодернізацією, що виконуються з метою оцінки її теплоізоляційних показників, протягом тривалого часу проводилися вимірювання значень густин теплового потоку через термомодернізовану ОК, температур поверхонь шарів ОК та повітря внутрішнього та зовнішнього середовища. Розраховувалися середні значення цих параметрів та визначалися коефіцієнти теплопровідності теплоізоляційного шару конструкції при умовах експлуатації [156, 170].

Всі ПТП-ПТО та МТО були встановлені на ОК таким чином, щоб уникнути впливу джерел теплоти та вологовиділення, а також припливних та витяжних отворів у центрі характерної термічно однорідної ділянки. Під час теплових випробувань автоматично контролювалися характеристики навколишнього середовища. Значення коефіцієнту теплопровідності теплоізоляційного шару за

умовами експлуатації визначалися за середніми значеннями всіх необхідних показників, отриманих після настання квазістаціонарного режиму, формування якого визначалось за контрольними вимірами поверхневої температури та температури внутрішнього та зовнішнього середовища.

Нижче представлено вибірку дослідних даних з 15 по 16 лютого 2018 року, які демонструють роботу вимірювального комплексу, для дослідної стінової конструкції з додатковим утепленням плитою напівжорсткою теплоізоляційною (ПМТБ-2) густиною 140 кг/м^3 , товщиною 100 мм, на основі базальтових волокон та бентонітового зв'язуючого [186] (Рисунок 6. 23 - Рисунок 6. 28).

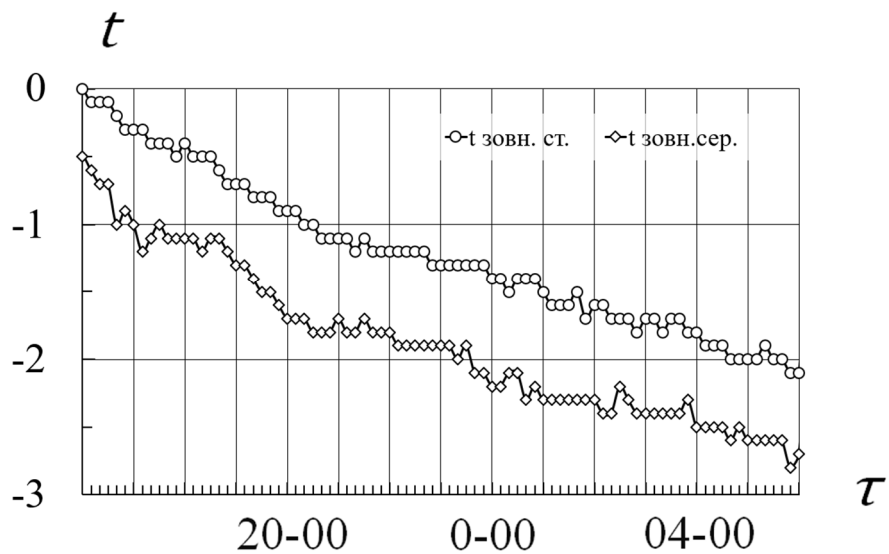


Рисунок 6. 23 – Динаміка зовнішніх температур ($^{\circ}\text{C}$): $t_{\text{зовн. ст.}}$ – температура поверхні шару теплоізоляції; $t_{\text{зовн. сер.}}$ – температура зовнішнього повітря.

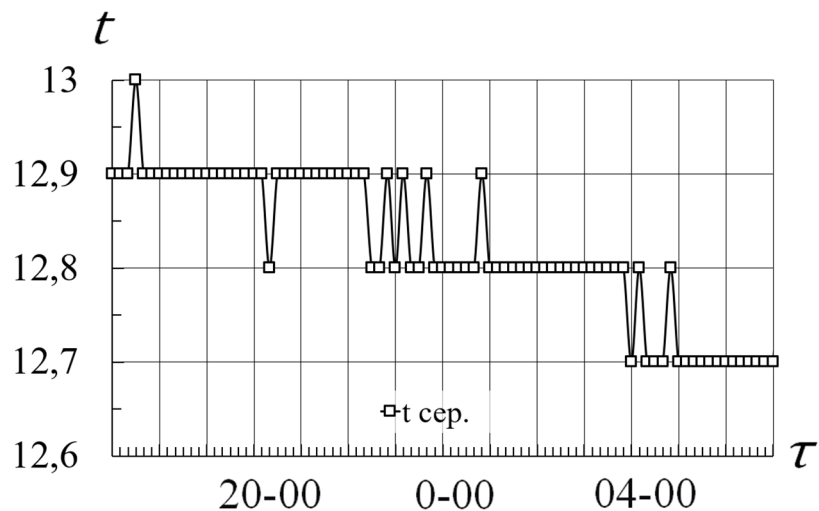


Рисунок 6. 24 – Динаміка температури на внутрішній поверхні додаткового теплоізоляційного шару $t_{\text{сер.}}$ ($^{\circ}\text{C}$).

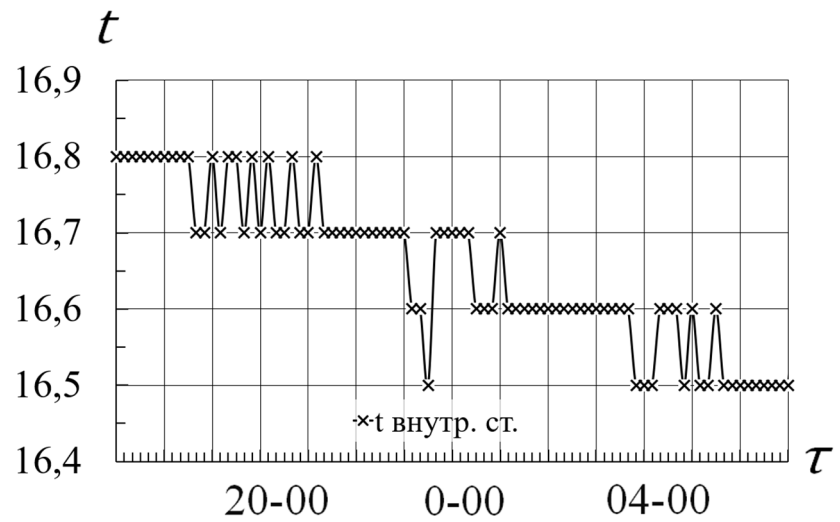


Рисунок 6. 25 – Динаміка температури внутрішньої поверхні огорожуючої конструкції $t_{\text{внутр. ст.}}$ (°C).

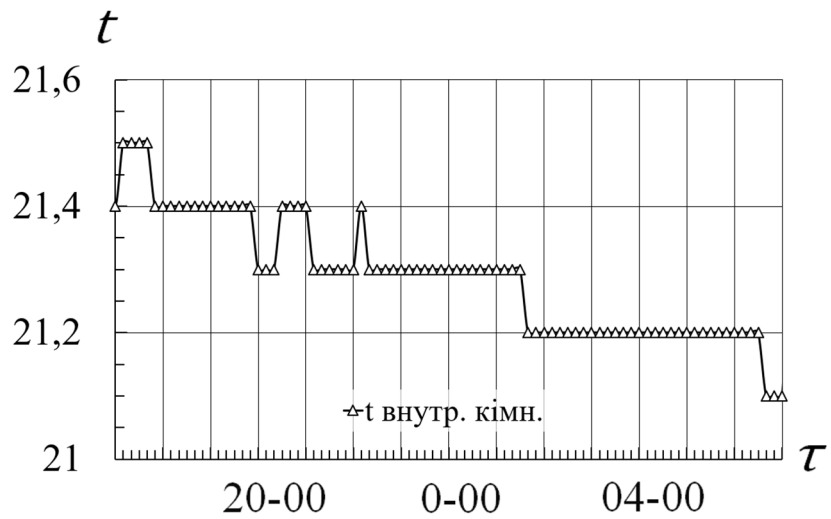


Рисунок 6. 26 – Динаміка внутрішньої температури в приміщенні $t_{\text{внутр. кімн.}}$ (°C).

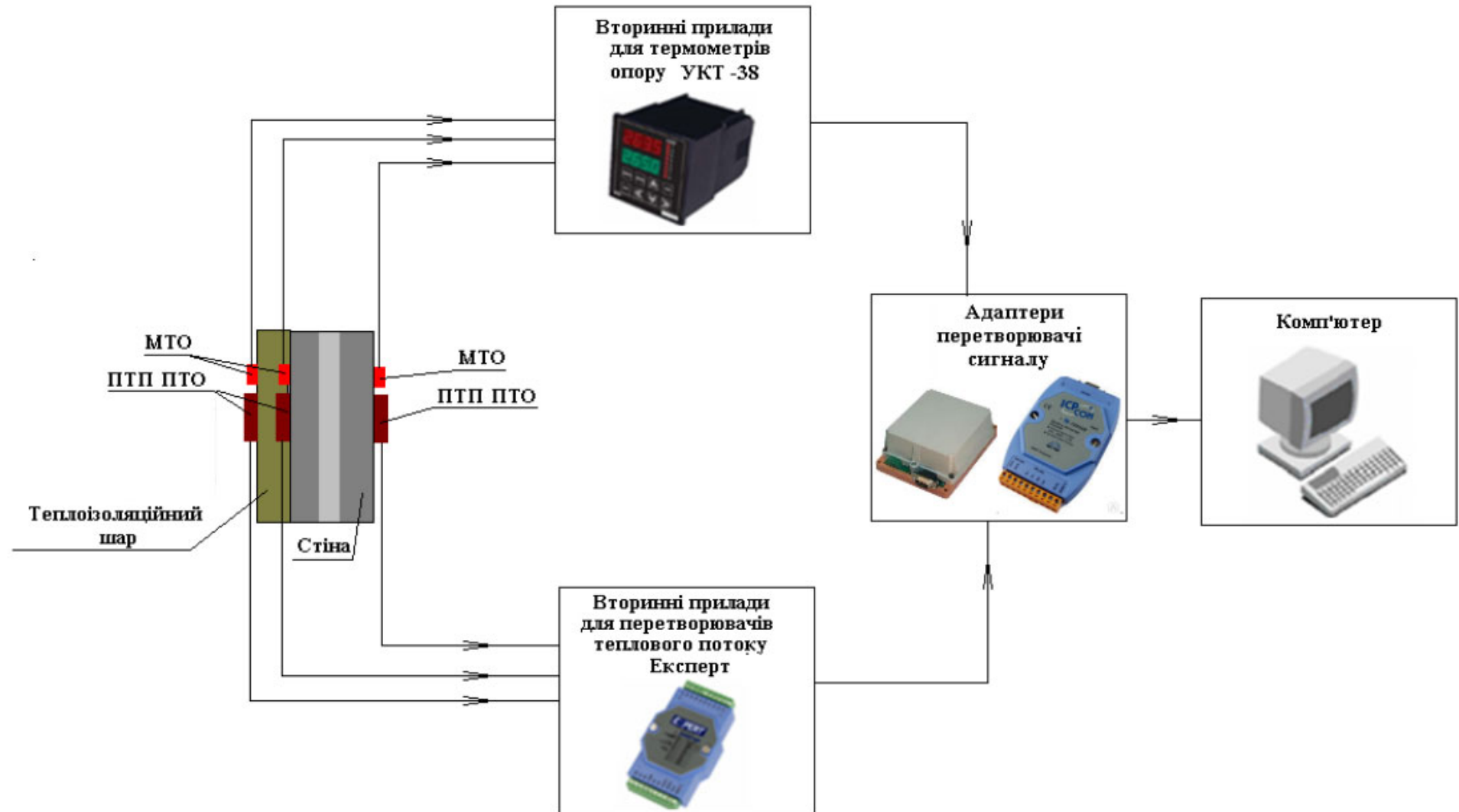


Рисунок 6. 27 - Схема збору та обробки інформації з вимірювальних датчиків: перетворювачів теплового потоку (ПТП) з вмонтованими платиновими термометрами опору (ПТО) та мідних термометрів опору (МТО)

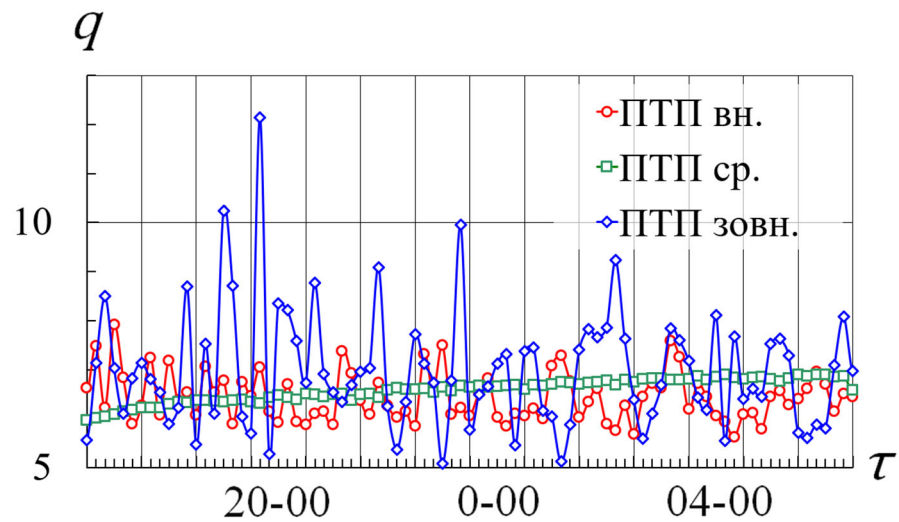


Рисунок 6. 28 – Динаміка густин теплових потоків ($\text{Вт}/\text{м}^2$) на внутрішній, середній та зовнішній поверхнях дослідної теплоізоляційної конструкції: ПТП вн., ПТП ср. та ПТП зовн. – густина теплового потоку на внутрішній, середній та зовнішній поверхнях дослідної конструкції, відповідно.

Використовуючи результати вимірювань обчислювалося значення коефіцієнту теплопровідності теплоізоляційного шару конструкції при умовах експлуатації

$$\lambda = \frac{q \cdot X}{(t_{\text{ср.}} - t_{\text{зовн.ст.}})},$$

де X – товщина теплоізоляційної плити (м); q – показання датчика ПТП ср.

Нижче наводиться динаміка коефіцієнту теплопровідності плити напівжорсткої теплоізоляційної на основі БВ та бентонітового зв'язуючого, товщиною 100 (мм) та густиною 140 ($\text{кг}/\text{м}^3$), обчисленого на базі наведених дослідних даних (Рисунок 6. 29).

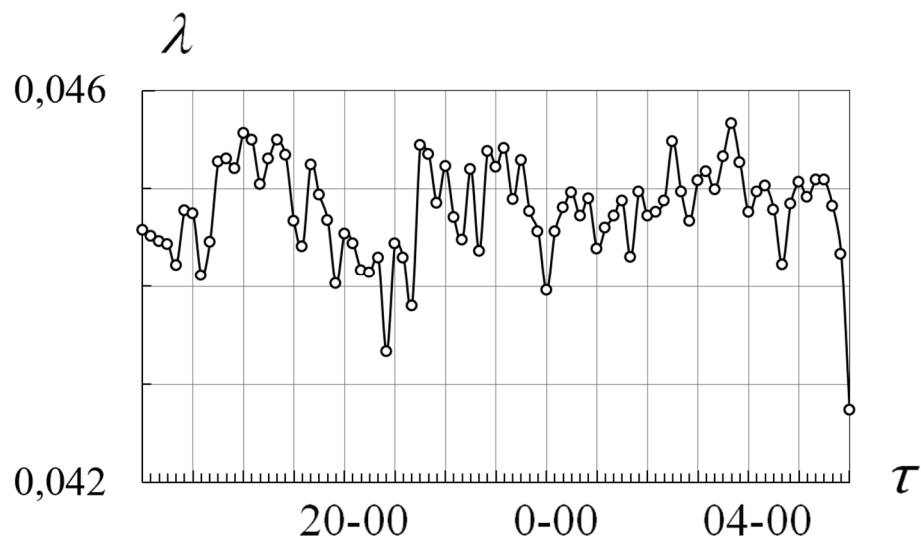


Рисунок 6. 29 – Динаміка коефіцієнту теплопровідності шару теплоізоляційної плити на основі БВ та бентонітового зв'язуючого при умовах експлуатації.

Одержана картина підтверджує високу ефективність додаткового шару теплової ізоляції в умовах нормального рівноважного вологовмісту конструкції 2-3%. Завдяки додатковому шару теплоізоляції термічний опір дослідної конструкції збільшився на 2,25 ($\text{m}^2 \cdot \text{C}$)/Вт. Спостереження, які проводяться в період з 2013 по 2018 рр. підтверджують стабільний стан властивостей плити напівжорсткої теплоізоляційної в дослідній конструкції. Вимірювання планується проводити і надалі, але вже на цьому етапі досліджень напівжорсткі теплоізоляційні плити на основі БВ та бентонітового зв'язуючого можуть рекомендуватися, як високоефективний, екологічно чистий матеріал для теплоізоляції фасадів будівель і споруд, який підвищує вогнестійкість багатопверхового будівництва.

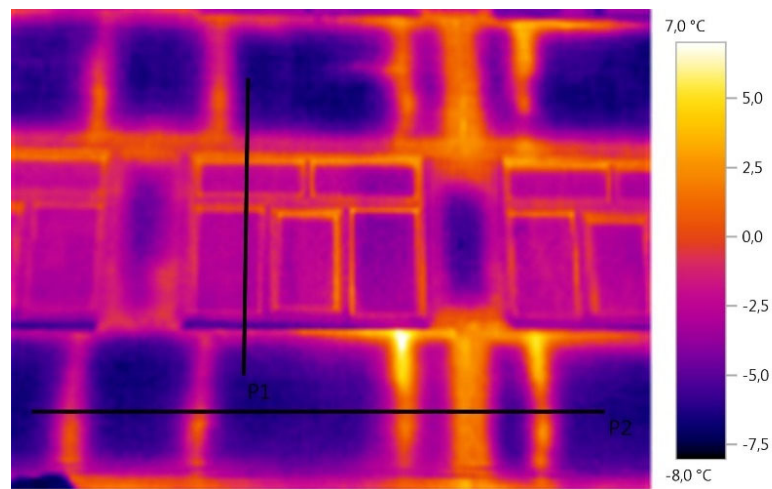
6.2.2. Рекомендації та заходи зі зменшення теплоспоживання будівлі за рахунок вдосконалення інженерної системи опалення та термомодернізації огорожувальних конструкцій

На наступному етапі дослідження проводилося тепловізійне обстеження зовнішніх та внутрішніх ОК адміністративної будівлі, що розглядається. В результаті такого дослідження були визначені області ОК з максимальними рівнями тепловтрат в навколишній простір (вікна, дах, стики панелей, цоколь тощо). Наявність великої кількості теплових мостів по всій зовнішній стіновій поверхні будівлі вимагає їх негайного усунення, що можливо лише шляхом їх утеплення. Після заходів по частковій термомодернізації були проведені тепловізійні дослідження за допомогою тепловізора Testo 875-2. Обстеження проводилися відповідно до державного стандарту [171]. За результатами тепловізійних досліджень, що проводилися при температурі зовнішнього повітря - 7 °С, було виявлено наявність градієнтів температур по поверхні стінової ОК та елімінацію теплових мостів.

При досить великому градієнті температур по поверхні зовнішньої ОК на термограмі (Рисунок 6. 30) добре видно структуру панелей, а також низьку якість закладення міжпанельних швів. Розподіл температури по зовнішній поверхні зовнішньої стіни досить нерівномірний (Рисунок 6. 31). За умов температури зовнішнього повітря - 7 °С, найвищі температури поверхні зовнішньої стіни спостерігаються в областях стиків панелей, в нещільностях між віконними рамами та стінами

будівлі, де значення температур досягає від $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, що говорить про низький термічний опір цих ділянок. На середині панелей температура має значення $-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Нижче наводиться термограма, яка демонструє ефективність застосування теплоізоляції на зовнішній поверхні ОК будівлі (Рисунок 6. 32). Зміна температури по зовнішній поверхні ОК (Рисунок 6. 33) як по висоті так і вздовж поверхні стіни не перевищує $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, що може бути пов'язано зі зміною температури повітря вздовж та по висоті будівлі.



а)



б)

Рисунок 6. 30 - Термограма (а) та фотографія (б) частини зовнішньої ОК будівлі корпусу №1 ІТТФ НАН України до утеплення стін

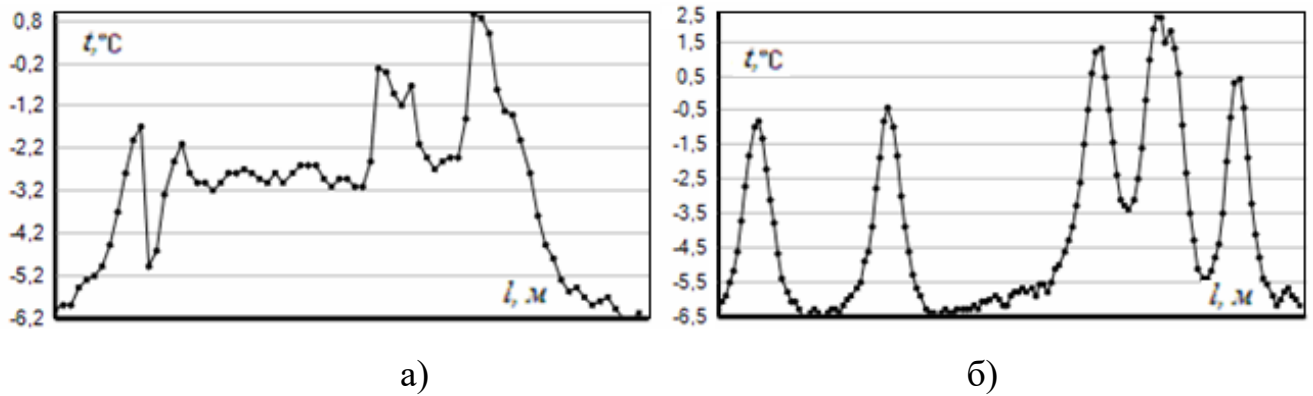


Рисунок 6. 31 - Розподіл температури по зовнішній поверхні ОК, що одержаний з термограми на (Рисунок 6. 30): а) лінія P1 (знизу до гори); б) лінія P2 (зліва на право).

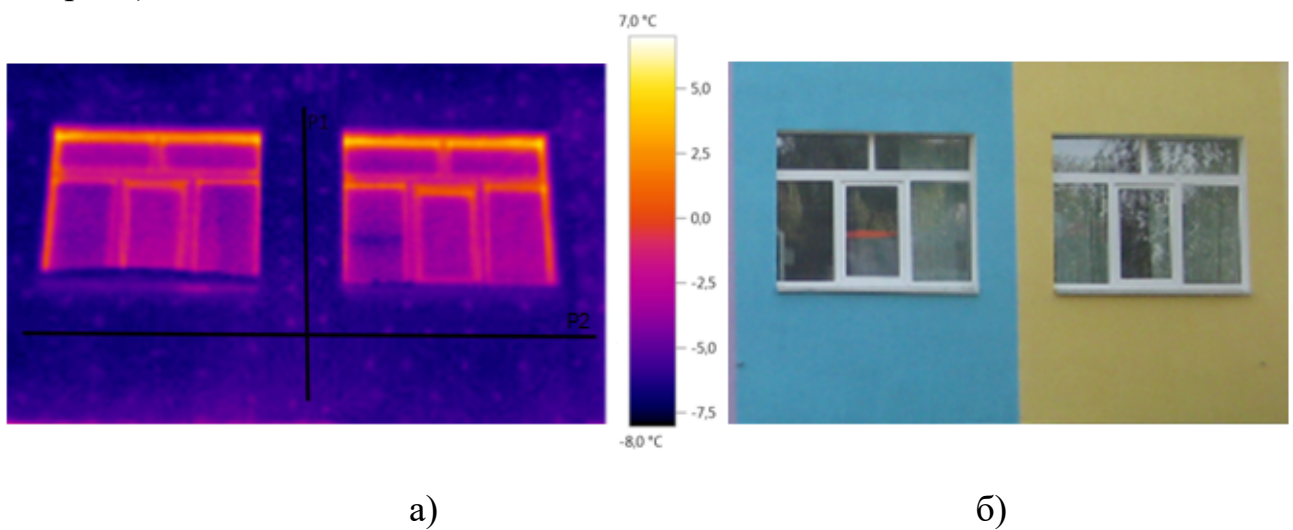


Рисунок 6. 32 - Термограма (а) та фотографія (б) частини фасаду досліджуваної будівлі після проведення заходів по термомодернізації (утеплювач: два види базальтової плити 140 кг/м^3 (відмінність - зліва зв'язуючим базальтової вати є бентонітова глина)).

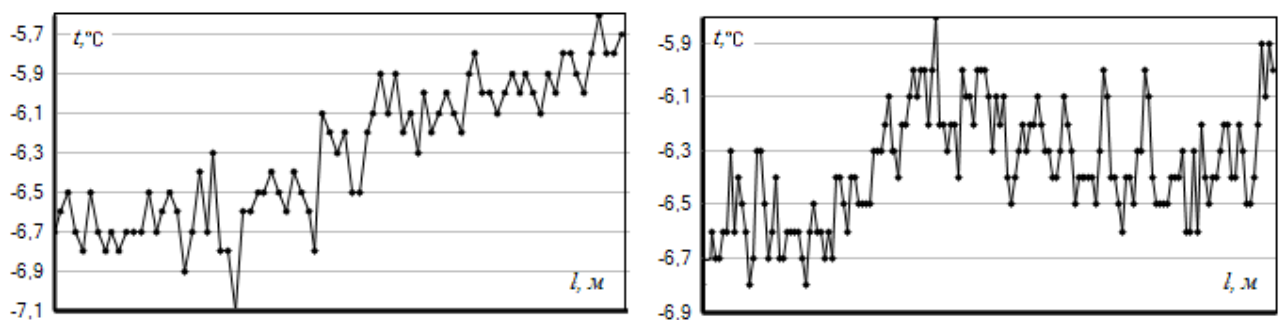


Рисунок 6. 33 - Розподіл температури по зовнішній поверхні ОК, що одержано з термограми на рис.4.27: а) лінія P1 (знизу вверху); б) лінія P2 (зліва на право).

Крім тепловізійного обстеження, про обов'язковість додаткового утеплення зовнішніх ОК досліджуваної будівлі свідчить і опір теплопередачі, що було

розраховано теоретично і експериментально. Так, опір теплопередачі досліджуваної будівлі до модернізації складає $1,85 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$, тоді як в [168, 170] нормоване значення для зовнішніх ОК нових будівель, та будівель при їх термомодернізації, має складати $3,3 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ і більше.

Встановлено, що максимальні значення коефіцієнтів тепловіддачі знаходяться в області відриву потоку від кромки будівлі. Це свідчить, про те, що в областях, де коефіцієнти тепловіддачі максимальні, необхідно підвищити теплоізоляційну спроможність ОК, що можливо за рахунок збільшення товщини додаткового утеплення та зменшення площі вікон.

З результатів аналізу температурного режиму будівлі першого корпусу ІТТФ НАН України в зимовий період випливає, що температури повітряного середовища в деяких приміщеннях на першому та другому поверхах досліджуваної будівлі вищі за нормовані [156, 170]. В першу чергу це пов'язано з тим, що на першому поверсі відбувається розводка теплоносія по стоякам для всіх чотирьох гілок теплопостачання. Наявність подавальних та зворотних трубопроводів на першому поверсі приводить до перегріву приміщень, розміщених на цьому поверсі. В деяких приміщеннях на другому поверсі, що розміщені над розподільчою рамкою управління теплопостачанням будівлі (елеваторний вузол підготовки теплоносія), температури повітря також виявляються вищими за нормативні значення. Найбільш перегрітим є приміщення самої розподільчої рамки, в якій розміщені сталеві комунікаційні трубопроводи без теплоізоляції. Перегрітим також є ділянка сходового маршруту на першому поверсі внаслідок наявності на цій ділянці конвектору, що підключений безпосередньо до подавального та зворотного трубопроводів. Як впливає з результатів гідравлічного розрахунку системи опалення (північно-західна гілка), вказаний поодинокий конвектор має суттєво менший гідравлічний опір, ніж наступні стояки з шістьма конвекторами. В результаті цього витрата теплоносія через цей конвектор суттєво більша, ніж через інші стояки даної гілки системи опалення. В результаті цього наступні стояки на даній гілці системи опалення, що розміщені після даного конвектору, не отримують необхідну кількість теплоти.

Як впливає з розрахунків, переведення деяких приміщень (№ 106, 203, 207, 208, 214, 215, 222, 301, 313) будівлі корпусу №1 ІТТФ НАН України, в яких відсутнє постійне перебування працівників, на неопалювальний режим експлуатації дозволить знизити втрати теплоти в будівлі з 121,16 кВт до 114,04 кВт або на 5,86% (Таблиця 6. 17). Крім того, значна кількість теплоти втрачається з поверхні не утепленого даху. Тому важливим заходом по зниженню тепловтрат будівлі, що розглядається, є ремонт, утеплення або зміна конструкції даху.

Таблиця 6. 17 - Зменшення теплоспоживання за рахунок переведення деяких приміщень досліджуваної будівлі на неопалювальний режим експлуатації

Показник	Втрати теплоти за рахунок інфільтрації, кВт	Втрати теплоти через ОК, кВт	Сумарні втрати теплоти, кВт
До відключення частини конвекторів	24,51	96,65	121,16
Після відключення частини конвекторів	22,97	91,07	114,04
Зменшення величини тепловтрат, кВт (%)	1,52 (6,20)	5,58 (5,77)	7,1 (5,86)

Разом з тим слід відзначити, що описані вище заходи лише частково вирішують проблему зменшення теплових втрат будівлі першого корпусу. Найбільш дієвими слід відзначити заходи по заміні старих віконних конструкцій на сучасні енергоефективні віконні конструкції та встановлення додаткового теплоізоляційного покриття на зовнішніх поверхнях ОК. Нижче (Таблиця 6. 18) представлені результати розрахунку економії теплоти при приведенні термічного опору зовнішніх бічних ОК досліджуваної будівлі до сучасних вимог з енергоефективності [156, 170].

Таблиця 6. 18 – Зменшення втрат теплоти при повній термомодернізації ОК будівлі

Показник	До термомодернізації	Після термомодернізації бічних стінових конструкцій	Після термомодернізації віконних конструкцій	Після термомодернізації бічних (вертикальних) ОК
Втрати теплоти, кВт	121,16	112,38	90,04	81,28
Зменшення втрат теплоти, кВт (%)	-	8,76 (7,2)	31,1 (25,7)	39,86 (32,9)

Також ефективним засобом зниження енерговитрат на опалення при

проведених заходах по термомодернізації будівлі є впровадження індивідуальних теплових пунктів [155], але запропоновані пропозиції будуть дієвими лише після загальної термомодернізації ОК будівлі.

В зв'язку з вище викладеним, слідує вважати доцільним проведення наступних заходів по зниженню витрат теплоти в будівлі корпусу №1 ІТТФ НАН України:

1. Заміна старих віконних конструкцій на сучасні з використанням енергозберігаючих склопакетів.
2. Теплоізоляція стінових ОК.
3. Утеплення даху будівлі (на перспективу: зміна конструкції даху).
4. Зменшення площі торцевих віконних конструкцій.
5. Відновлення типової системи рекуперативної вентиляції корпусу.
6. Відключення або зменшення витрати теплоносія через конвектори в кімнатах, температура повітря в яких перевищує санітарно-гігієнічні норми та відключення конвектору на першому поверху центрального сходового маршу.
7. Теплоізоляція трубопроводів:
 - а) в розподільній рамці управління теплопостачанням будівлі (елеваторний вузол підготовки теплоносія);
 - б) з рамки управління теплопостачанням будівлі;
 - в) для підводу та відводу теплоносія на першому поверсі корпусів № 1, 2 та в переході.
8. Установка ІТП в рамці управління теплопостачанням будівлі (після термомодернізації будівлі).

6.3. Висновки

Слов'янська ТЕС. Дослідна теплоізоляційна конструкція виконана з матів прошивних безобкладкових МТПБа, зразок 1, **задовольняє нормативним вимогам**, за результатами випробувань може бути складений паспорт ТІ, дійсний протягом всього періоду до наступного капітального ремонту.

Дослідна теплоізоляційна конструкція виконана з матів ROCKWOOL PROROX WM 920, зразок 2, **не задовольняє нормативним вимогам**. Термічний опір основного теплоізоляційного шару має бути збільшений. На теплоізоляційну конструкцію може видаватись тимчасовий паспорт, терміном до 1 року, протягом цього періоду мають бути усунені всі дефекти ТІ.

Бурштинська ТЕС. Спостерігаються відмінності в температурах поверхні теплоізоляційної конструкції виконаної з зразків теплоізоляційних матеріалів густиною 30 та 40 кг/м куб. Середня температура ділянки теплоізоляційної конструкції з матеріалів густиною 40 кг/м куб. на 4 °С нижче температури ділянки з густиною 30 кг/м куб.

Температура поверхні дослідного зразка на всій його довжині задовольняє нормативним вимогам [169] та [172], та для умов експлуатації, що спостерігались, не перевищує 43 °С. Можна стверджувати, що на теперішньому етапі перевірки теплоізоляційна конструкція виконана з матеріалів густиною 30 кг/м куб. задовольняє нормативним вимогам. Теплозахисні властивості конструкції виконані з матеріалів густиною 40 кг/м куб. слід признати завищеними.

Необхідна подальша підконтрольна експлуатація теплоізоляційної конструкції з метою виявлення впливу тривалості експлуатації на її теплозахисні властивості.

ІТТФ НАН України. Підтверджено високу ефективність додаткового шару теплової ізоляції в умовах нормального рівноважного вологовмісту конструкції 2-3%. Напівжорсткі теплоізоляційні плити на основі БВ та бентонітового зв'язуючого можуть рекомендуватися, як високоефективний, екологічно чистий матеріал для теплоізоляції фасадів будівель і споруд, який підвищує вогнестійкість багатоповерхового будівництва.

Запропоновано системні комплексні заходи зі зменшення теплоспоживання адміністративної будівлі та доведення її до стану повної відповідності виконанню вимог ДБН для новобудов та будівель при їх термомодернізації.

Застосування запропонованих заходів по зменшенню тепловтрат будівлі дозволить покращити її тепловий режим, зменшити її теплоспоживання та дає можливість суттєво подовжити термін експлуатації досліджуваної будівлі, побудованої в 1973 році за проектом 416-3-3/70 Тип 1 1966 року.

РОЗДІЛ 7. ІННОВАЦІЙНІ РОЗРОБКИ ТА НОУ-ХАУ

П'ять технологій, які здатні забезпечити багаторазове зниження витрат природного газу у галузі в цілому [25].

Нові технічні рішення щодо технології та устаткування, які забезпечують істотні економічні переваги у виробництві базальтових волокон та виробів на їх основі. *Стосовно технології «варіння» базальтового скла у ванних печах.* З метою зниження витрат *на технологічну сировину* перейти на використання відходів базальтового щебеню в якості сировини замість товарного будівельного щебеню, для чого в багатостадійний технологічний процес вводяться додатково технологічні операції водної мийки та сепарації сировини з метою запобігання внесення пилу і небажаних домішок. З метою мінімізації втрат теплоти *внаслідок неорганізованого газообміну* базальтоплавильних печей з довкіллям застосувати наступні технічні рішення:

- виконати герметизовану систему завантаження сировини, яка має завантажувальний пристрій у пічний простір, відкритий зверху завантажувальний бункер, де розміщується запас сировини, яка одночасно виконує функцію ущільнення печі, а механізм безперервно-періодичного дозування сировини розміщується у герметичному корпусі з примусовим рекуперативним охолодження, а приводний вал механізму виведено назовні через сальникове ущільнення і з'єднано з механізмом управління;

- кладку печі із вогнетривкої кераміки виконувати у внутрішньому щільному металевому корпусі з металевою кришкою, яка ущільнена піщаним затвором; для чистки внутрішнього простору печі у корпусі виконано отвір з притворами, які обладнані ущільненням лабіринтового типу з використанням шнура із БСТВ.

З метою *зменшення зовнішньої поверхні печей* і, пов'язаних з нею рекуперативних тепловтрат печі замість одного вбудованого фідера, нову піч обладнано двома фідерами, розміщеними праворуч і ліворуч, тобто, піч виконується подвійної продуктивності зі зменшеним значенням питомої зовнішньої поверхні.

З метою *зниження рекуперативних тепловтрат* і при захисті керамічної кладки печі від термохімічної корозії при контакті з розплавом базальту за допомогою утворення захисного гарнісажного шару базальтового скла оптимальної товщини на внутрішній поверхні ванни печі, а також захисту металевому корпусу печі від

впливу високих температур, для цього організовано керований примусовий тепловідвід шляхом створення на зовнішній поверхні корпусу герметичного плаского теплообмінного апарату повітряного охолодження з організацією в ньому примусового просування повітря зі спіралевидною траєкторією у напрямі, протилежному зростанню температури керамічної кладки. Повітря, підігрите у теплообміннику-охолоджувачі використовується в якості окисника при спалюванні природного газу на другому етапі дуплекс-технології, або використовується на санітарно-технічні потреби заводу (опалення, гаряче водопостачання), завдяки чому утилізується тепловміст охолоджувального повітря. Зовнішня поверхня теплообмінника-охолоджувача ізолювана теплоізоляцією на основі БСТВ з температурою зовнішньої поверхні $\leq 40^{\circ}\text{C}$.

З метою зменшення часу, необхідного для обробки сировини, збільшення продуктивності печей і зниження питомих витрат енергії, *сировина піддається попередньому підігріву* шляхом примусового періодичного продування крізь шар сировини частини димових газів. Завдяки цьому зменшується час, необхідний для розплавлення базальту.

З метою зниження витрат природного газу шляхом *зниження коефіцієнту надлишку повітря* при його спалюванні в печі застосувати спеціалізовані регенеративні пальники з примусовим охолодження природним газом, які розташовані у високотемпературній зоні печі, у кутах внутрішнього простору печі, у спеціальних нішах, куди надходить підігрите повітря з організацією взаємодії струменів полум'я і забезпеченням оптимальних умов радіаційного теплообміну полум'я і поверхні розплаву у ванні печі.

З метою *використання тепловмісту димових газів* створені системи його глибокої утилізації для підігріву повітря, яке спрямовується на спалювання газу. Розроблені системи двох типів: регенеративна, яка застосована у печах марки РГ (регенеративних) і рекуперативна, застосована у печах марки РК (рекуперативних). Обидві системи утилізації високоефективні і забезпечують нагрівання повітря до температури $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ і охолодження димових газів до температури $\leq 500^{\circ}\text{C}$.

Необхідними технічними умовами досягнення високих температур повітря є застосування у регенеративних печах компактних малогабаритних регенераторів із термостійкої литої кераміки з високорозвиненою поверхнею і, порівняно,

невеликим гідродинамічним опором. З метою запобігання тепловтратам, які працюють при високих температурах, вони виконані вбудованими у кладку печі, що стало можливим, завдяки їх малим габаритним розмірам. З метою подовження строку експлуатації каменів регенераторів вони виконані двохшаровими, що забезпечує зниження термічного напруження; крім того, при руйнуванні каменю, наближеного до ванни печі, на його місце під час перекладки встановлюють камінь із верхнього шару; вище по ходу димових газів, де вони частково охолоджені, над керамічними каменями регенераторів виконана секція регенераторів з насадкою із вогнетривкої кераміки заданих геометричних розмірів, що забезпечує істотну економію на вузли, які потребують частої заміни.

На основі печей РГ розробляється агрегат другого покоління для виробництва БСТВ.

У рекуперативних печах також використовуються компактні вбудовані теплообмінники, але рекуперативного типу з теплообмінною поверхнею із карбиду кремнію. З їх допомогою також одержані високі температури повітря-окисника. Рекуперативні печі слід вважати більш перспективними, але на сьогодні вони ще не відпрацьовані на рівні регенеративних, тому їх планується застосувати у агрегатах третього покоління.

Проведено дослідно-промислове відпрацювання безперервної заправки печі високо нагрітою сировиною, а також у рідинно-плинному стані, що створює реальну перспективу подальшого енергозбереження. Система попереднього нагрівання базальтової сировини до температури ≤ 1000 °С є, вельми, перспективною, щодо енергозбереження завдяки істотному скороченню часу плавлення і, відповідно, підвищенню продуктивності печі. Ще більшого ефекту слід очікувати від системи безперервного завантаження базальту у вигляді суспензії, де суцільна фаза – розплав, а дисперсна фаза – кристали базальту, які ще не перейшли у розплав. Обидві технології успішно пройшли дослідно-промислові випробування і підтвердили високі теплоенергетичні показники. Включення їх у склад печей для агрегату другого покоління є передчасним з огляду на недостатню тривалість експлуатації відповідних пристроїв. Задля подолання цього необхідна участь матеріалознавців.

На сьогодні регенеративною піччю, яку включено до складу агрегату другого покоління досягнуто зменшення питомих витрат природного газу на

варіння базальтового скла у 4 рази. Подальші роботи у напрямі енергозбереження у процесі «варіння» базальтового скла триватимуть одночасно з впровадженням результатів уже закінчених розробок – печей РГ у складі агрегатів другого покоління (у складі одного агрегату застосовано 2 печі РГ).

Нові технічні рішення щодо інтенсифікації процесу «роздування» (перетворення на штапельні волокна) ансамблю монониток.

На сьогодні ця технологія споживає ~ 50% загальних витрат газу у дуплекс-технологіях. Запропоновано три напрями зменшення витрат газу:

1. Вдосконалення процесу попереднього змішування газу з повітрям, в тому числі з використанням підігрітого повітря в корпусі печі на першому етапі технології, що забезпечило зменшення недопалу та оптимізувало параметри високотемпературних продуктів згоряння в зоні обробки грубих базальтових волокон та витягування штапельного волокна.

2. Заміну пальників з водяним охолодженням на пальники, які охолоджуються самою газоповітряною сумішшю, яка надходить у камеру згоряння через пористі стінки з кераміки, що дозволяє усунути тепловитрати на підігрів охолоджувальної води.

3. Зменшення масової витрати високотемпературних продуктів згоряння природного газу.

Перший і другий напрями відпрацьовані у дослідно-промислових умовах і включені до складу агрегату другого покоління, їх сукупний ефект енергозбереження становить 25%.

Третій напрям досліджено у лабораторних і, частково, у виробничих умовах, які довели його перспективність, щодо істотного зниження витрат енергії на роздування, ці роботи триватимуть. Сутність технічних рішень щодо третього напрямку полягає в наступному:

- вводить стадія попереднього нагрівання монониток до температури ≥ 800 °С за допомогою плоского випромінювача;
- паралельно плоскому струменю високотемпературних продуктів згоряння організовуються два плоских струменя повітря, що зменшує перемішування через ежекцію і призводить до уповільнення зниження температури у струмені продуктів згоряння.

Роботи третього напрямку потребують створення дослідно-промислового зразка.

Нові технічні рішення щодо інтенсифікації періодичного процесу зневоднення плитних виробів на основі БСТВ та наковок безперервної нитки.

Технічне рішення, щодо способу, полягає в тому, що матеріал розташовується у вагонетках у герметичному теплоізолюваному тунелі і піддається нестационарному процесу сушіння в середовищі високовологої суміші продуктів згоряння і вторинної перегрітої пари, яка надходить із матеріалу; агент сушки примусово переміщується по тунелю зі швидкістю між виробами ≥ 5 м/с. В установці організована рециркуляція за допомогою високотемпературного димососу. У контур безперервно подаються продукти згоряння газу із пальника з температурою ≥ 1300 °С, а із контуру безперервно видаляються відпрацьований агент сушіння з температурою ≤ 120 °С у кількості, що дорівнює сумі продуктів, що надходять через пальник і вторинної пари. Температура агента сушіння після циркуляційного димососа підтримується на рівні ≤ 400 °С.

Тунельна сушарка, яка застосовується для реалізації способу, являє собою герметичний тунель з рециркуляційним газоходом виконаний із пористих теплоутримуючих будівельних матеріалів (наприклад, газобетону).

Тунель ретельно ущільнений металічними дверцятами. Теплова енергія підводиться за допомогою газового пальника, в якому спалюється природний, скраплений або генераторний газ.

Питомі витрати теплової енергії у такій сушарці не перевищують 1000 ккал/кг вологи, що випаровується, на відміну від 4000-6000 ккал/кг, що має місце на сьогодні.

Нові технічні рішення, спрямовані на істотне зниження ваги плитних виробів на основі БСТВ.

Як довели проведені дослідження причина підвищеної ваги і збільшення через це собівартості теплоізоляції з одночасним погіршенням теплоутримуючих властивостей полягає в тому, що штапельні волокна обриваються під впливом робочих органів перемішуючих пристроїв під час змішування волокон, глини і води, яке на сьогодні організовано в одну стадію. Волокна набувають довжину ≤ 10 мм, через що їх сукупність небажано ущільнюється.

Нове технічне рішення полягає в тому, що колоїдний розчин готують окремо, а потім обережно поєднують його з шаром БСТВ. Цей процес відпрацьовано у лабораторних умовах, що дозволило отримати зразки плит з питомою вагою ≤ 50 кг/м³ замість ≥ 140 кг/м³.

На черзі відпрацювання щодо процесу у дослідно-промислових умовах.

Зв'язок науково-практичних задач розглянутих в роботі з інноваційними розробками та ноу-хау наводиться у вигляді структурної схеми нижче (Рисунок 7. 1).

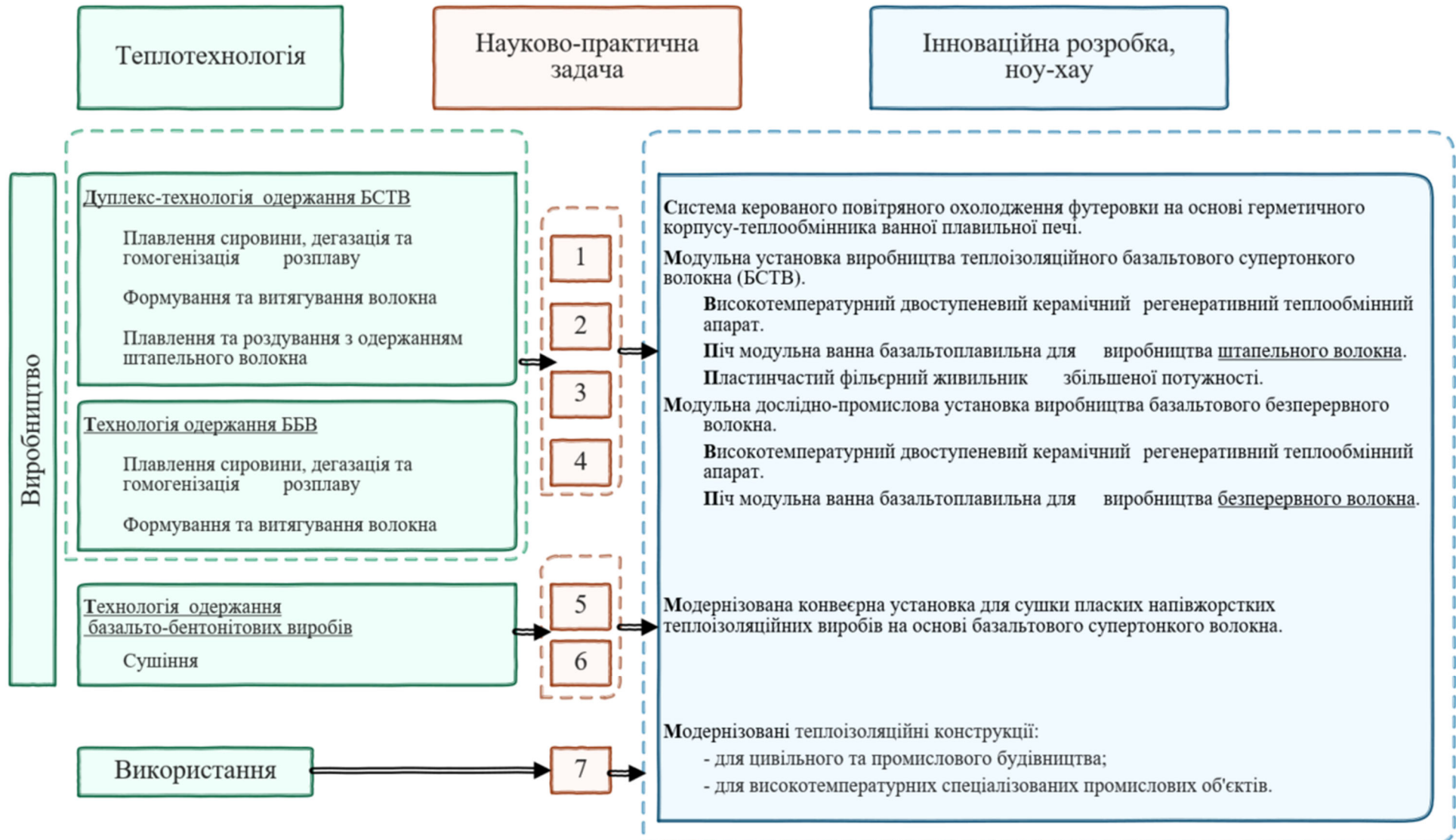


Рисунок 7. 1 – Зв'язок науково-практичних задач з інноваційними роботами та ноу-хау.

7.1. Система керованого повітряного охолодження футеровки на основі герметичного корпусу-теплообмінника ванної плавильної печі

Основою модернізації модульних ванних плавильних печей виступає виріб, який представляє собою герметичний корпус-теплообмінник, який охолоджується повітрям (Рисунок 7. 2). Переваги системи примусового повітряного охолодження описано та досліджено в другому та третьому розділах роботи. Корпус-теплообмінник представляє собою металевий ящик з подвійними стінками та дном. Метал корпусу – сталь корозійно-стійка жароміцна 12Х18Н9Т, або її замітник. Простір між стінками корпусу розділено перегородками так, що утворюється замкнений канал для проходу повітря. До внутрішньої поверхні корпусу примикає футеровка печі. З зовнішньої поверхні корпусу встановлюється шар м'якої теплової ізоляції на основі БСТВ. Проникнення газових пальників, елементів системи автоматизації, технологічних отворів в корпусі виконується герметично, через футляри.

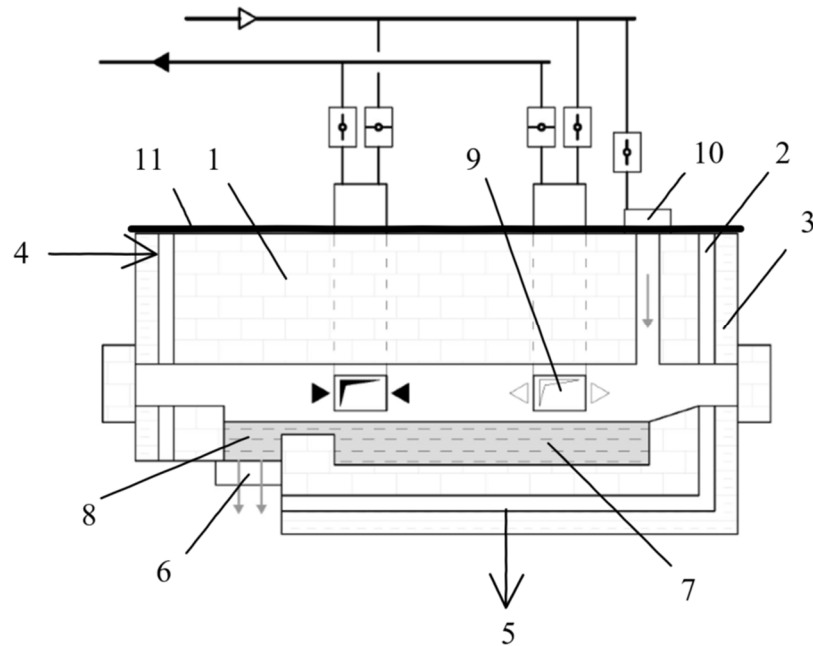


Рисунок 7. 2 – Схема компоновки інноваційної ванної модульної плавильної печі: 1 – футеровка печі; 2 – корпус-теплообмінник (КТ); 3 – шар теплоізоляції; 4 – вхід повітря для охолодження КТ; 5 – вихід повітря після охолодження КТ; 6 – фільтрний живильник з вузлом кріплення, що охолоджується водою; 7 – ванна печі плавильної; 8 – фідер печі плавильної; 9 – газова система опалення печі; 10 – повітряний затвор; 11 – кришка печі.

Повітря надходить в верхню частину КТ звідки спрямовується, охоплюючи футеровку печі по периметру, в нижню частину печі. В пристрої організовано рух повітря по спіралі, «зверху до низу», від холодної області в область з високою

температурою. Видалення підігрітого повітря здійснюється в нижній частині печі, на дні КТ.

Застосування КТ дозволило: а) забезпечити кероване повітряне охолодження футеровки печі (середня густина теплового потоку на поверхні футеровки 3,6-5,4 кВт/м²); б) зменшити величину тепловтрат теплопровідністю через кладку печі; в) повітря з системи охолодження КТ використати в технологічному процесі або на санітарно-побутові потреби цеху; г) забезпечити можливість зниження температури на поверхні зовнішнього шару теплоізоляції до нормативних значень, різко покращуючи температурні умови біля установки.



Рисунок 7. 3 – Фото корпуса-теплообмінника

Нижче наводяться технічні характеристики виробу одержані в результаті підконтрольної експлуатації дослідно-промислового зразка обладнання.

Таблиця 7. 1 – Технічні характеристики корпуса-теплообмінника модульної печі для плавлення базальту

№ пп	Назва позиції		Один. вимір.	Величина
1	2		3	4
1.	Середовище	Найменування		повітря
		Токсичність		нетоксичне
		Вибухонебезпечність		невибухонебезпечне
		Агресивність		агресивне

1	2	3	4
2.	Площа теплообміну загальна	м ²	8,33
	В тому числі:		
	зона 1	м ²	2,64
	зона 2	м ²	2,86
	зона 3	м ²	1,49
	зона 4	м ²	1,34
3.	Площа живого перерізу для проходу повітря	м ²	$9 \cdot 10^{-3}$
4.	Розрахункова теплова потужність	кВт	12,0...20,0
5.	Робоча температура середовища:		
	на вході	К (°С)	323 (50)
	на виході	К (°С)	693 (420)
6.	Розрахункова температура стінки	К (°С)	773 (500)
7.	Тиск в системі:		
	робочий	МПа	0,35
	розрахунковий	МПа	0,53
8.	Габаритні розміри апарата:	довжина	мм
		ширина	мм
		висота	мм
9.	Маса апарата	кг	750
10.	Масова витрата повітря	кг/год	до 200
11.	Аеродинамічний опір контуру	мм вод. ст.	до 350

Корпус-теплообмінник є невід'ємною частиною системи керованого повітряного охолодження футеровки печі. Контроль та регулювання потужності системи охолодження здійснюється через шкаф управління агрегатом. Підлягають контролю – масова витрата повітря через КТ, температура повітря на вході та виході з КТ.

7.2. Модульна установка виробництва теплоізоляційного базальтового супертонкого волокна (БСТВ)

Установка призначена для виробництва штапельних БСТВ спеціального та будівельного призначення, з середнім діаметром волокон 1,0-1,1 мкм. Вона складається з наступних елементів:

- 1) пристроїв дозування та завантаження базальтової сировини;
- 2) печей модульних ванних плавильних;
- 3) фільтрних живильників з водоохолоджуваними елементами кріплення;
- 4) механізмів витягування грубих волокон;
- 5) камер роздування БСТВ;

- б) дифузора та камери волокноосадження;
- 7) систем інженерного забезпечення роботи установки;
- 8) системи автоматизованого управління роботою установки.

Нижче наводиться таблиця, де дається перелік та зв'язок між елементами установки (Таблиця 7. 2).

Таблиця 7. 2 - Зв'язок обладнання та інженерних мереж установки виробництва БСТВ (дуплекс-технологія)

№ ПП	Обладнання та системи	Водопостачання та водовідведення	Продукти згоряння (В1, В2)		Газопостачання (Г1, Г2)		Повітропостачання		Електропостачання
			В1	В2	Г1	Г2	А1	А2	
1.	Піч ванна плавильна модульна	●	●			●	●	●	●
2.	Регенеративний ТА		●					●	
3.	Пальник газовий (ПГ) основний					●	●	●	
4.	ПГ запальвальний					●		●	●
5.	Установка дозування та завантаження						●		●
6.	Фільтрний живильник з вузлом кріплення	●					●		●
7.	Механізм витяжки первинних ниток								●
8.	Дифузор			●					
9.	Камера волокноосадження			●					
10.	Інжектор				●		●		
11.	Камера роздування БСТВ	●			●		●		
12.	Привід фільтр-барабана								●
13.	Заслінка		●						●
14.	Трансформатор	●							●
15.	Вентилятор для видалення ПЗ		●						●
16.	Вентилятор дуттьовий							●	●
17.	Димосос камери волокноосадження			●					●
18.	Ел.-магн. клапан безпеки							●	●
19.	Фотодатчик								●
20.	Газовий ел.-магн. клапан безпеки				●	●			●
21.	Повітряний ел.-магн. клапан безпеки						●	●	●
22.	Система КВП і А								●

Установка містить у своєму складі:

- дві нові уніфіковані базальтоплавильні печі ППБ-2РГ, які у порівнянні з печами першого покоління дозволили знизити витрати природного газу у 4 рази;

- дві нові уніфіковані камери для розплавлення і роздування базальтових ниток з одержанням БСТВ, які у порівнянні з установками першого покоління дозволили знизити витрату природного газу на 30%.

В новому агрегаті застосовані наступні інноваційні технічні рішення (Рисунок 7. 4):

- на базі комбінованих двоступеневих теплообмінників регенеративного типу та регенеративних пальників створена система високотемпературного спалювання окислювача, яка забезпечує підігрів повітря до температур більше 1000 °С та його спалювання в пальниках регенеративного типу;

- система керованого охолодження футеровки печі з утворенням захисного гарнісажного шару на поверхні ванни розплаву базальту з утилізацією теплоти для підігріву газоповітряної суміші в камерах для розплавлення і роздування базальтових ниток;

- закрыта система дозування базальтової крихти, що забезпечує попереднє підігрівання сировини, сприяє стабілізації температури в топковому просторі печі та істотно зменшує некерований газообмін;

- система охолодження камер роздуву газоповітряною сумішшю та пористі газоохолоджувальні пальникові пристрої, які дозволили відмовитись від водяного охолодження і пов'язаних з ним витрат рідини та теплової енергії;

- система безпеки, керування та автоматизації теплових процесів агрегату з функціями підтримання потужності та складу газоповітряної суміші.

Нова енергоефективна установка другого покоління з виробництва БСТВ за дуплекс-технологією забезпечує досягнення наступних теплотехнологічних характеристик:

- теплова потужність	570 кВт;
- встановлена електрична потужність	120 кВт;
- споживання стисненого повітря (надлишковим тиском 30 кПа)	870 кг/год.;
- споживання води в системі охолодження	12,5 м ³ /год.;
- досягнута продуктивність	520 кг/добу.

Досягнуті результати дозволили знизити споживання природного газу на виробництво кінцевої продукції у 1,5 рази, по відношенню до установок першого покоління.



Рисунок 7. 4 – Фото інноваційної модульної установки виробництва БСВТ
Питомі енергетичні показники технологічного процесу: а) 2,1-2,5 ст. м³ природного газу/кг готової продукції; б) 2,2-2,4 кВт·год/кг готової продукції. Економічний ефект від провадження однієї установки 1,848 млн. грн./рік.

7.2.1. Піч модульна ванна базальтоплавильна для виробництва штапельного волокна

Мета, яка переслідувалася при модернізації модульної ванної плавильної печі полягала в кардинальному зниженні споживання природного газу на її опалення. Як було показано в розділі першому, значні енергетичні затрати на організацію технологічного процесу були пов'язані з втратами з високотемпературними продуктами згоряння, низькою температурою повітря, що надходить на горіння, високими рекуперативними втратами теплоти через кладку та з поверхонь технологічного обладнання; малою продуктивністю печі. Інноваційні печі, включивши в себе такі рішення, як: а) система керованого повітряного охолодження футеровки печі; б) система високотемпературного спалювання повітря; в) модернізований фільтрний живильник з водоохолодженим вузлом кріплення; г) система дозування та завантаження сировини; д) система автоматизації, дозволила кардинально знизити енергоспоживання на її опалення та в цілому на організацію технологічного процесу. Зокрема, використання системи керованого повітряного охолодження футеровки печі дозволило на 10% скоротити величину рекуперативних втрат теплоти через кладку та спрямувати підігріте повітря в камеру роздуву БВ на другому етапі дуплекс-технології. Використання високотемпературної системи спалювання повітря, в поєднанні з високотемпературними компактними керамічними теплообмінними апаратами регенеративного типу та регенеративними пальниками, дозволило більше ніж в шість разів скоротити втрати з високотемпературними продуктами згоряння та забезпечити підігрів повітря до 1000-1400 °С. Застосування фільтрних живильників збільшеної потужності з модернізованими водоохолоджуваними вузлами кріплення, дозволило на порядок збільшити ККД печі та на 30% знизити її електроспоживання. Нижче наводиться комбінована схема компоновки інноваційної модульної ванної плавильної печі з розташуванням теплотехнічного та технологічного обладнання та інженерних мереж (Рисунок 7. 5). Описані рішення дозволили в разі скоротити споживання природного газу на етапі варіння базальтового скла (питомі витрати склали 0,65 ст. м³/кг БСТВ), в 2,4 рази збільшити КВП печі (до 0,79 одиниці) та на порядок збільшити ККД печі (до 12,5 %).

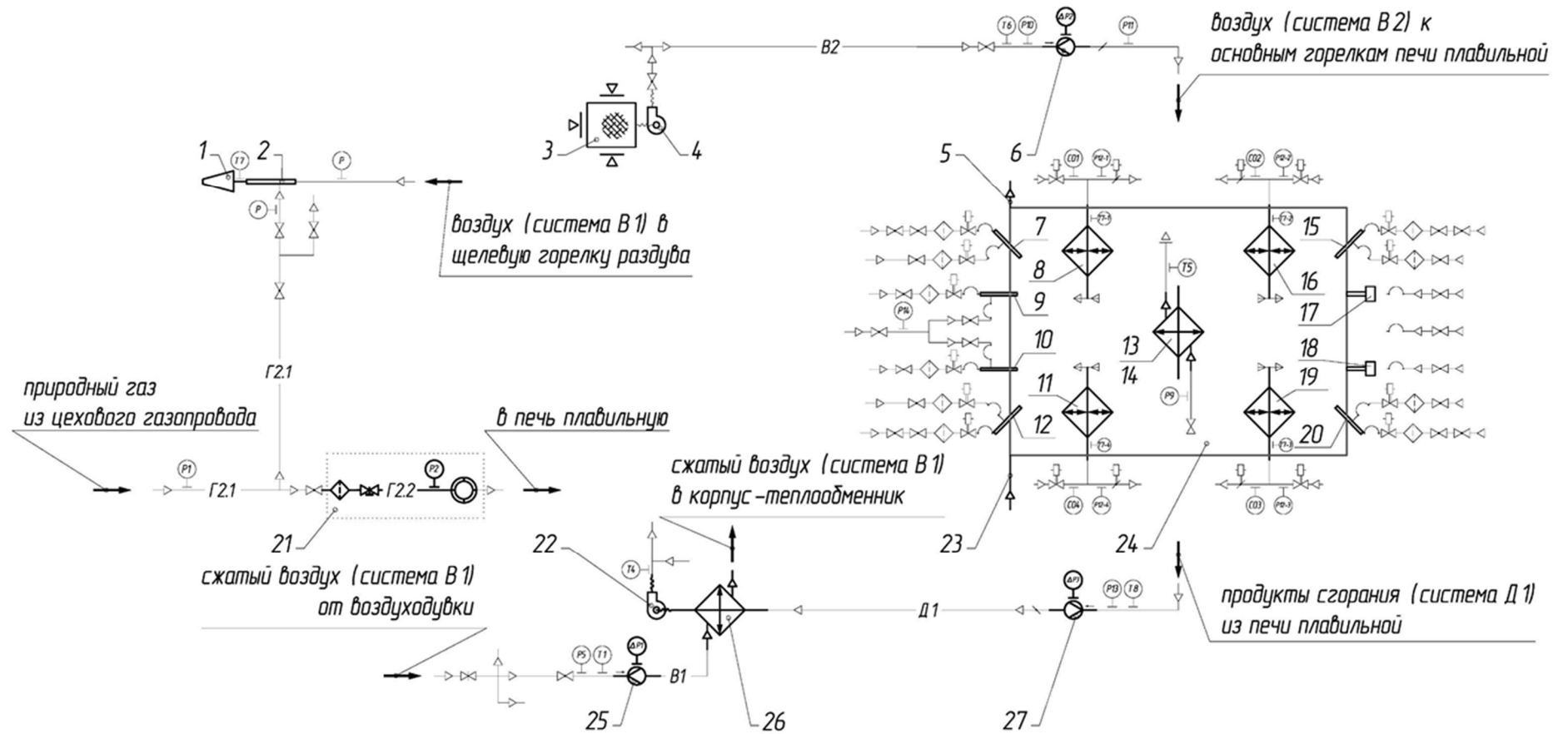


Рисунок 7. 5 – Компоновка печі модульної базальтоплавильної ППБ-2РГ: 1 – палик роздування (щільний); 2 – інжектор; 3 – приточна камера-фільтр; 4 – вентилятор дутьовий (система В2); 5 - вихід з корпусу-теплообмінника (система В1); 6 – вузол обліку споживання повітря (окислювача) на горіння в системі (В2); 7, 12, 15, 20 – палики газові основні (ОП) №1-4; 8, 11, 16, 19 – теплообмінні апарати керамічні, регенеративні, №1-4, відповідно; 9, 10 - палики газові запальні (ЗП) №1, 2, відповідно; 13 – повітряний затвор шахти загрузки; 14 – повітроохолоджуючий перехідник шахти загрузки; 17, 18 – датчики фоточастотні УЗОР-Ф; 22 – тягодутьова машина для відведення продуктів згорання; 23 – вхід в корпус-теплообмінник (система В1); 24 – піч плавильна, ППБ-2РГ; 25 – вузол обліку споживання стисненого повітря в системі (В1) повітряного охолодження корпусу-теплообмінника; 26 – теплообмінний апарат рекуперативного типу для доохолодження продуктів згорання природного газу; 27 – вузол обліку витрати продуктів згорання в системі (Д1), що відводяться з печі плавильної.

7.2.2. Високотемпературні двоступеневі керамічні регенеративні теплообмінні апарати

В якості насадка високотемпературного компактного теплообмінного апарата регенеративного типу використовувалися комірчасті блоки фірми Rauschert. Ескіз поперечного перерізу блоку та його технічні характеристики наводяться нижче (Рисунок 7. 6, Таблиця 7. 3).

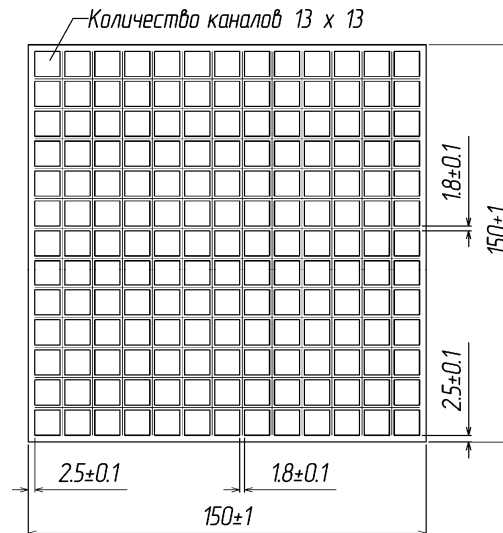


Рисунок 7. 6 – Поперечний переріз комірчастого блоку регенеративного ТА

Таблиця 7. 3 – Технічні характеристики комірчастого блоку

№ пп	Назва позиції	Од. вим.	Величина
1.	Площа перерізу (незахарашена)	м ²	0,0225
2.	Коефіцієнт живого перерізу		0,677
3.	Характерний лінійний розмір	м	0,0095
4.	Площа поверхні теплообміну блоку	м ²	1,93
5.	Питома поверхня теплообміну	м ² /м ³	286
6.	Матеріал блоку		муліт
7.	Коефіцієнт температурного розширення (20...1000 °С)	К ⁻¹	6,2·10 ⁻⁶
8.	Густина	кг/м ³	2310
9.	Питома теплоємність (20...100 °С)	Дж/(кг·К)	998
10.	Коефіцієнт теплопровідності (20...100 °С)	Вт/(м·К)	2,42
11.	Стійкість до термоудару (мінімум)	К	550
12.	Температура розмякшення	°С	≥1580
13.	Рекомендована максимальна температура застосування	°С	1480

Високотемпературний компактний керамічний ТА регенеративного типу (надалі регенератор) в поєднанні з регенеративним пальником представляє собою систему високотемпературного спалювання повітря (Рисунок 7. 8). Як показав аналіз проведений в розділі четвертому та підтвердили результати дослідно-промислової підконтрольної експлуатації дослідних зразків обладнання, описана система дозволила здійснити нагрів повітря на горіння до 1000-1400 °С та спалити його в складі газоповітряної суміші в просторі ванної плавильної печі. Використання потенціалу високотемпературних продуктів згоряння (ПЗ) на високотемпературний підігрів повітря дозволило більше ніж в 6 раз зменшити величину втрат з ПЗ, які видаляються, збільшив коефіцієнт використання палива піччю до 0,79 одиниці.



а)

б)

Рисунок 7. 7 – Фото металевих корпусів регенераторів (а) та розташування систем високотемпературного спалювання повітря на печі (б).

Піч плавильна komponується чотирма системами високотемпературного спалювання повітря (Рисунок 7. 7). Проектом передбачена попарна робота систем – дві працюють, горять пальники (розрядка регенераторів), дві не працюють, пальники не горять (зарядка регенераторів). Потужність однієї системи 14-19 кВт. Потенціал утилізації працюючої пари 28-38 кВт. Період розрядки/зарядки регенератора 20 секунд, ефективність регенератора $\varepsilon = 0,95$ одиниці. Аеродинамічний опір системи в робочому режимі не перевищує 1,5 кПа.

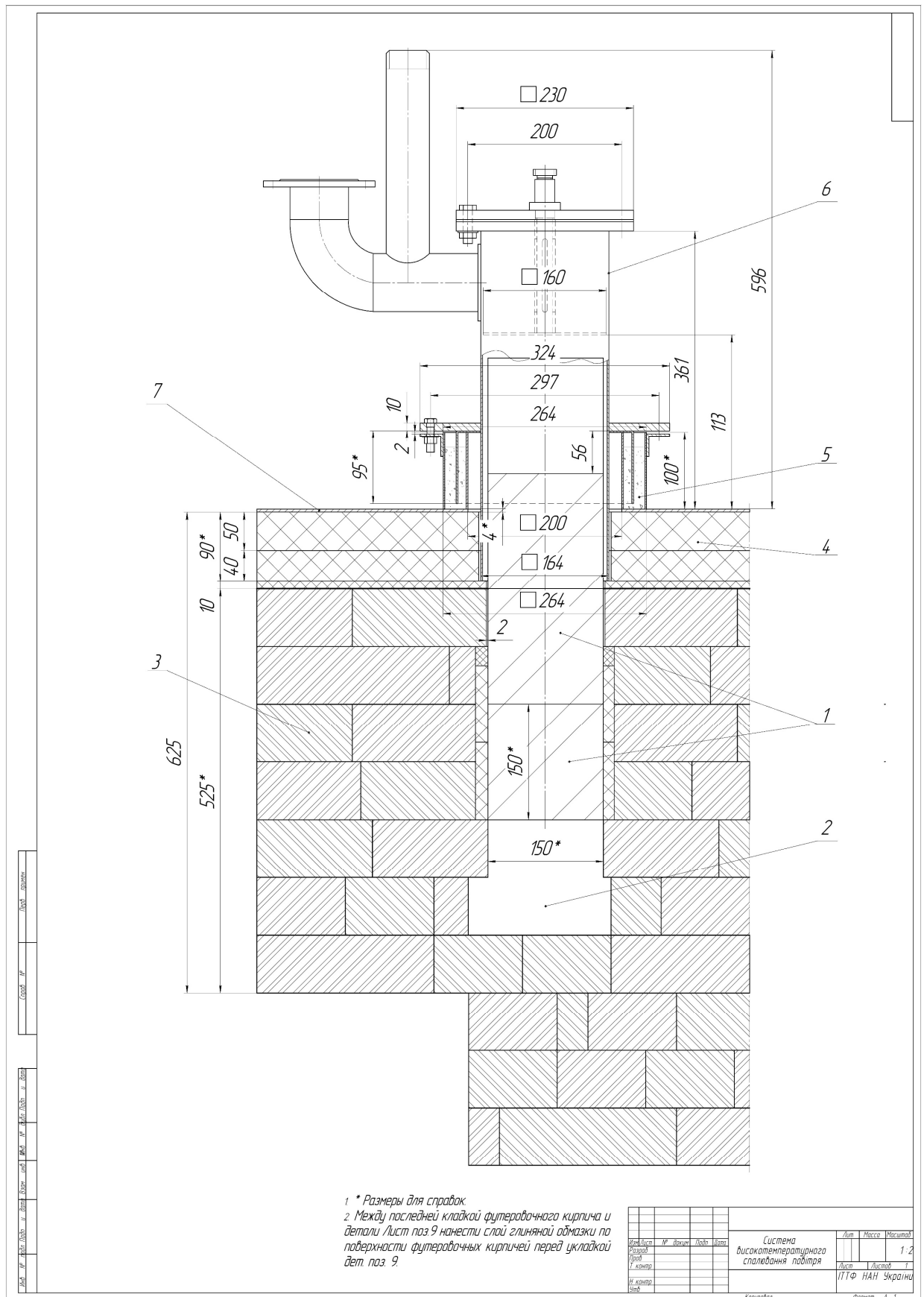


Рисунок 7. 8 – Система високотемпературного спалювання повітря: 1 – блок комірчастий; 2 – камера змішування пального регенеративного; 3 – футеровка печі; 4 – плити теплоізоляційні; 5 – затвор пісчаний; 6 – металевий корпус регенератора; 7 – кришка печі.

7.2.3. Пластинчастий фільтрний живильник збільшеної потужності

Дослідження проведені в другому розділі роботи склали основу для створення модернізованого вузла формовки базальтових волокон, який включає в себе пластинчастий фільтрний живильник збільшеної потужності та його водоохолоджуване кріплення на корпусі печі - рамку. Задача модернізації полягала в: а) усуненні термічної та гідравлічної неоднорідності в фідері печі над фільтрним живильником та зниженні різнотовщинності базальтових волокон по полю живильника; б) збільшенні продуктивності фільтрного живильника; в) зниженні електроспоживання фільтрним живильником. В модернізованому живильнику було збільшено кількість та діаметр фільтрних каналів, відповідно, 364 шт., діаметром 2,2 мм. Змінено конструкцію рамки та інтенсивність охолодження живильника.

Відмінність модернізованого живильника полягає в тому, що: а) зменшена товщина живильника в місці його встановлення в рамку; б) зменшена глибина встановлення живильника в рамку; в) збільшено відстань від крайніх фільтрних каналів до поверхні рамки; г) збільшено відстань від крайніх фільтрних каналів на торцях живильника до його токопідводів. Відмінність водоохолоджуваної рамки полягає в тому, що: а) зменшена висота рамки над поверхнею фільтрного живильника; б) за рахунок збільшення величини термічного опору на поверхні водоохолоджуваного каналу, збільшено середню температуру поверхні рамки до 500 °С.

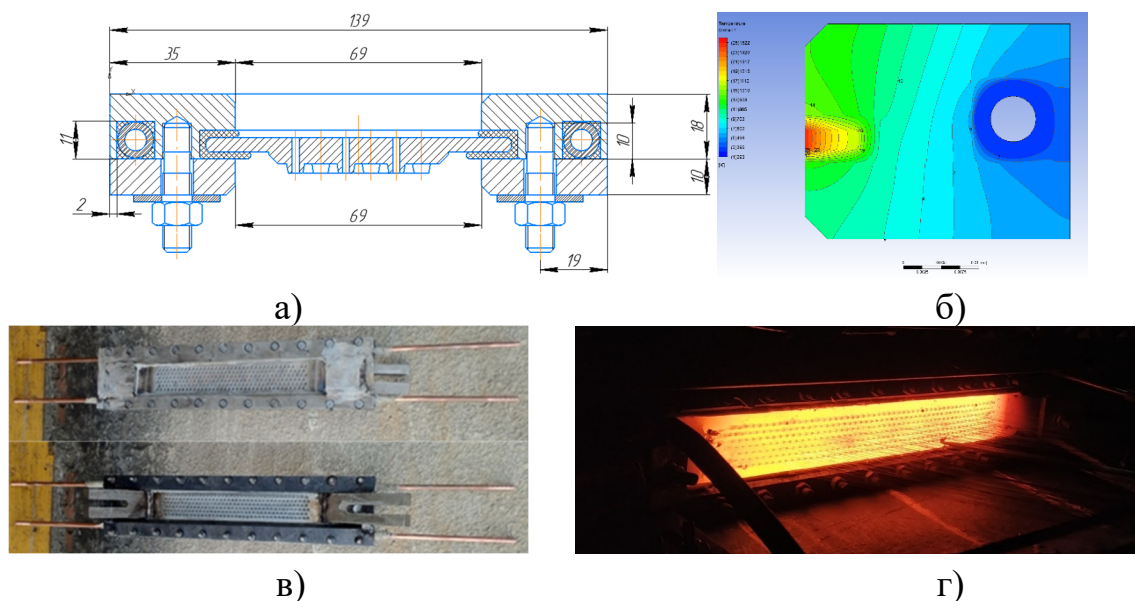


Рисунок 7. 9 – Матеріали по вузлу формовки базальтового волокна: а) ескіз вузла формовки БВ; б) розрахунок температурного поля в рамці; в) виготовлені вузли формовки БВ; г) виводка живильника на діючій установці.

Модернізація вузла формування БВ дозволила в 2 рази збільшити його продуктивність при одночасному загальному зниженні електроспоживання на 30%.

7.3. Модульна дослідно-промислова установка виробництва базальтового безперервного волокна

Основу модернізації плавильної часті технології виробництва безперервних базальтових волокон склали технічні рішення, які пройшли дослідну перевірку в складі установок виробництва штапельних базальтових волокон. Зокрема, в модульній плавильній печі виробництва безперервного базальтового волокна реалізовано: а) принцип високотемпературного спалювання повітря; б) систему керованого повітряного охолодження футеровки печі; в) систему дозування та завантаження сировини; г) систему безпеки, керування та автоматизації теплових процесів установки з функціями підтримання потужності та складу газоповітряної суміші. Крім того, в модульній установці було реалізовано двоступеневу систему живлення вузла вироблення безперервної базальтової нитки з електрообігрівом та 200 фільтрним живильником. Продукція установки – будівельний (15-20 мкм) та текстильний (8-13 мкм) базальтовий дірект ровінг.

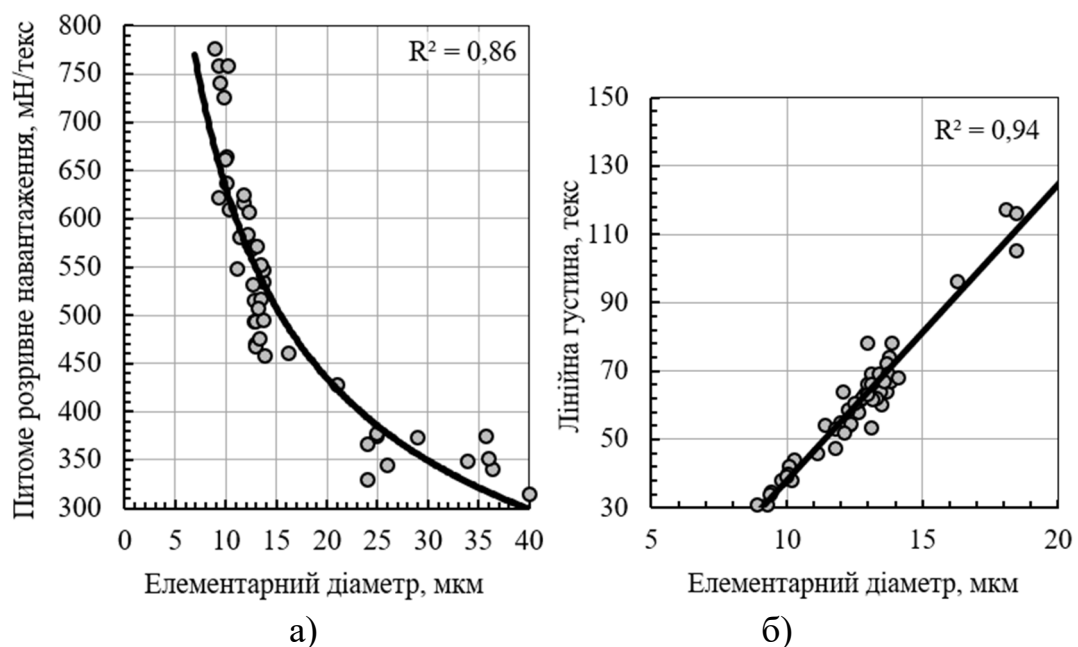


Рисунок 7. 10 – Технічні показники базальтового дірект-ровінга одержаного на модульній установці.

Зразок печі модульної ванної базальтоплавильної для виробництва безперервних базальтових волокон пройшов дослідно-промислові випробування та

знаходиться в тривалій підконтрольній експлуатації у складі технологічної установки. Досягнуто питомі витрати природного газу на етапі плавлення та гомогенізації розплаву – 0,8 ст. м³/кг. Досягнуто питомі енергетичні показники в цілому по технологічному процесу – 0,8 ст. м³/кг та 3,0 кВт·год./кг. В технології ББВ досягнуті результати дозволили знизити у 2 рази споживання природного газу на виробництво дірект-ровінгу по відношенню до установок модульного типу. Крім того, середня міцність елементарного базальтового волокна одержаного на дослідно-промисловій установці, у 1,2-1,4 рази вища за аналогічний показник для елементарних волокон одержаних на існуючих модульних установках (Рисунок 7. 10).

Дослідно-промислому зразку модульної установки виробництва базальтової безперервної комплексної нитки (дірект-ровінгу), відповідають наступні показники призначення:

- | | |
|--|------------------------------|
| - теплова потужність ванної плавильної печі | до 70 кВт; |
| - встановлена електрична потужність | до 30 кВт; |
| - одержана продуктивність дірект-ровінгу | 6,5 кг/год.; |
| - одержаний діапазон діаметрів елементарних волокон | 8-20 мкм; |
| - споживання стисненого повітря (надл. тиском 1,0 МПа) | до 270 дм ³ /хв.; |
| - об'ємна витрата води в системі охолодження | 2,0 м ³ /год. |

Економічний ефект від провадження одного агрегату склав 0,133 млн. грн./рік.



а)



б)

Рисунок 7. 11 – Фото модульної плавильної печі (а) та агрегату виробництва безперервного базальтового волокна (дірект-ровінгу) (б).

7.4. Модернізована конвеєрна установка для сушіння плоских напівжорстких теплоізоляційних виробів на основі БСТВ та бентонітового зв'язуючого

Окреме місце займають в класі базальто-бентонітових виробів картони, плоскі листові вироби товщиною 5, 10, 15 мм (за існуючою номенклатурою виробництва). Картони широко застосовуються і як будівельні, і як спеціалізовані теплоізоляційні вироби, і як елементи систем вогнезахисту вентиляційних каналів та шахт, кабін ліфтів, внутрішніх вогнезахисних перегородок будівель цивільного та промислового призначення. Слід зазначити, що і структурно, і фізично базальто-бентонітові картони близькі до плит.

В основу виробництва базальто-бентонітового картону покладено технологію виробництва паперу. На першому етапі відбувається виготовлення базальто-бентонітової суспензії – у великий об'єм з високошвидкісним перемішувачем послідовно додаються компоненти суспензії – вода, базальтове волокно, бентонітова глина, флокулянт. На другому етапі, готова суспензія перекачується на ділянку формування вологої заготовки, де неперервно, на барабанному вакуум-фільтрі відбувається формування неперервної вологої заготовки. На третьому етапі заготовка калібрується, волога заготовка на конвеєрній стрічці кілька разів проходить через прижимні валки, при цьому додатково механічно видаляється частина вологи, формуються задані товщина і густина виробу. На четвертому етапі заготовка сушиться. Сушіння проводиться у двох камерах. Поки волога неперервна заготовка не має механічної міцності, її сушіння і транспортування здійснюється на стрічці конвеєра. Після набуття заготовкою механічної міцності, сушіння продовжується в камері з рольгангом. На п'ятому етапі висушене полотно картону розрізається і складається.

Як об'єкт сушіння базальто-бентонітовий картон може бути віднесений до капілярно-пористих колоїдних тіл. Спираючись на цикл досліджень, проведений в розділі п'ятому, весь цикл сушіння картону був розподілений на періоди, які відрізняються між собою характером зміни вологовмісту у часі, швидкістю сушки і розподілом температури та вологовмісту по перерізу виробу.

Конвеєрна установка призначена для радіаційно-конвективної сушки теплоізоляційного базальто-бентонітового картону. В якості енергоносія використовується природний газ середнього тиску. Установка складається з двох камер, в яких забезпечуються різні термічні і газодинамічні умови. В якості агента сушіння використовується суміш продуктів згоряння природного газу з повітрям. В камері сушіння №1 коефіцієнт надлишку повітря в агенті сушіння складає 1,8-2,2 одиниці. В камері сушіння №2 коефіцієнт надлишку повітря в агенті сушіння складає 3,0-3,5 одиниці. Загальна довжина сушильної установки 26 метрів. Довжина камери №1 – 12 метрів. Довжина камери №2 – 12 метрів. Між камерами відкрита 2 метрова технологічна ділянка. Середня температура внутрішнього простору в камері №1 570-600 °С. Дослідним шляхом встановлено, що для існуючої конструкції камери подальше підвищення температури в ній призводить до локальних перегрівів заготовки, і, як наслідок, втрати якості кінцевої продукції. Загальна кількість пальників в камері №1 – 16 штук, по 8 пальників з кожного боку. Пальники розташовані в «шаховому» порядку. Кожна пара пальників утворює свою циркуляційну зону (Рисунок 7. 12).



Рисунок 7. 12 – Модернізована конвеєрна лінія виробництва базальто-бентонітових картонів.

В камері сушіння №2 підтримується температура до 440 °С. Верхнє значення температури обмежено умовами збереження якості продукції. Загальна кількість пальників у камері №2 – 10 штук, по 5 пальників з кожного боку. Розташування

пальників– «шахове». Вся сушильна установка обладана пальниками типу СГ. Відведення продуктів згоряння з камер сушіння здійснюється у верхній частині камери перед останньою парою пальників.



Рисунок 7. 13 – Ділянка порізки та зйому картону.

Заходи з модернізації конвеєрної установки сушіння плоских напівжорстких теплоізоляційних виробів на основі базальтового супертонкого волокна. За рахунок збільшення кратності циркуляції теплоносія в сушильній камері підвищено зовнішні коефіцієнти тепломасообміну з поверхні. Інтенсифіковано процеси приготування теплоносія – суміші продуктів згоряння та атмосферного повітря, що дозволило зменшити зону масообміну та підвищити температурний рівень теплоносія в камері сушіння №1. Інтенсифікація процесів приготування теплоносія та зовнішніх коефіцієнтів тепломасообміну дозволила на 27% зменшити внутрішній об'єм сушильної камери №2. Проведені роботи дозволили на 25-35% збільшити продуктивність установки по готовій продукції та на 15% знизити величину питомих енергетичних витрат на одиницю випареної вологи. Питомі енергетичні витрати на одиницю випареної вологи досягли 2000 ккал/кг. Економічний ефект від впровадження складає 0,554 млн. грн./рік.

Показники призначення модернізованої установки:

- готова продукція – плоскі напівжорсткі базальтобентонітові теплоізоляційні вироби, товщиною 5, 10, 14, 19 мм;
- продуктивність по готовій продукції 21-23 м³/добу;

- теплова потужність установки 2,0 МВт;
- встановлена електрична потужність 110 кВт;
- питомі енергетичні показники технологічного процесу: а) природний газ 135 ст. м³/ м³ готової продукції; б) електрика 52 кВт·год/ м³ готової продукції.

7.5. Техніко-економічний аналіз заходів з системної інноваційної модернізації багатостадійної теплотехнології

Практичне вирішення вельми важливої для України проблеми широкого впровадження у будівництво базальтової ізоляції потребує системного підходу і конвергенції різних галузей науки, техніки і промисловості з обов'язковим регуляторним впливом з боку держави. Необхідна координація зусиль теплотехнологів, матеріалознавців, спеціалістів з будівельної теплотехніки, архітекторів, економістів, тощо. Техніко-економічне обґрунтування обов'язково повинно охоплювати весь «ланцюг» від видобутку базальтового щебеню до експлуатації готових теплоізованих споруд, де досягається кінцевий результат щодо економії енергії на опалення. В ході такого ТЕО буде можливо оптимізувати весь процес, спрямований на кінцеве енергозбереження. Так, наприклад, подорожчання «жорстких» теплоізоляційних матеріалів у порівнянні з «м'якими» може компенсуватися зниженням витрат на проведення робіт по влаштуванню теплоізоляції в будівельних умовах і т.п.

Важливо відмітити, що Україна має значні переваги щодо організації виробництв базальтової теплоізоляції через виключно придатні для цього прикарпатські базальти.

Розроблені на сьогодні нові технології та обладнання дозволяють створити інноваційні типові підприємства за модульним принципом, з можливістю регулювання їх продуктивності відповідно до місцевого попиту. Такі підприємства повинні створюватись виходячи з того, що набагато економічніше перевозити базальтову сировину з густиною 1600 кг/м³ ніж теплову ізоляцію з густиною 40-50 кг/м³. Вже виконані розробки дозволяють досягти на таких підприємствах собівартості базальтової теплоізоляції – завдяки значному зниженню споживання енергоносіїв – на рівні, що не перевищує собівартості вогнебезпечної теплоізоляції, що широко застосовується на сьогодні. Нижче подаються планові техніко-економічні

показники цехів другого покоління по виготовленню базальтової теплоізоляції (Таблиця 7. 4), питомі показники собівартості теплоізоляційної продукції (Таблиця 7. 5) та актуальна інформація для оцінки економічної ефективності заходів по термомодернізації огорожуючих конструкцій житлових і адміністративних будівель (Таблиця 7. 6).

Таблиця 7. 4 - Капітальні витрати на створення цехів по виготовленню базальтової теплової ізоляції

№ пп	Найменування позиції	Одиниця вимірю- вання	Величина
1.	<u>Цех виробництва м'яких виробів - матів прошивних безобкладкових МТПБа [164]</u>	тис. євро	328,9
	в тому числі:		
	будівництво цеху	тис. євро	174,9
	технологічне обладнання (в тому числі монтаж, пусканалагодження, навчання персоналу)	тис. євро	154,0
1.1.	Річна потужність цеху по готовій продукції	тис. м ³	до 30,0
1.2.	Режим роботи обладнання	годин/добу	24
		годин/рік	7920
1.3.	Термін служби обладнання та споруд	років	10
2.	<u>Цех виробництва жорстких виробів - плит теплоізоляційних ПМТБ-2 (ТУ У В.2.7. -88.023.021-95)</u>	тис. євро	157,5
	в тому числі:		
	будівництво цеху	тис. євро	67,5
	технологічне обладнання (в тому числі монтаж, пусканалагодження, навчання персоналу)	тис. євро	90,0
2.1.	Річна потужність цеху по готовій продукції	тис. м ³	до 5,7
2.2.	Режим роботи обладнання	годин/добу	24
		годин/рік	8040
2.3.	Термін служби обладнання та споруд	років	20

Таблиця 7. 5 - Планові питомі показники собівартості теплоізоляційної продукції – змінні витрати

№ пп	Найменування позиції	Одиниця вимірю- вання	Величина
1.	<u>Мати прошивні безобкладкові МТПБа [164]</u>		
1.1.	Об'єм готової продукції (річний)	тис. м ³	до 30,0
1.2.	Споживання природного газу (річне)	млн. м ³	до 2,3
1.3.	Споживання електроенергії (річне)	млн. кВт·год	до 4,5
1.4.	Собівартість 1 м ³ готової теплової ізоляції	євро	42,7
	- природний газ	євро	24,4
	- електроенергія	євро	6,3
	- фонд оплати праці	євро	8,9
	- вихідна сировина	євро	0,5
	- амортизаційні витрати	євро	0,1
	- поточні ремонти	євро	2,5
2.	<u>Плити теплоізоляційні ПМТБ-2 (ТУ У В.2.7-88.023.021-95)</u>		
2.1.	Об'єм готової продукції (річний)	тис. м ³	до 5,7
2.2.	Споживання природного газу (річне)	млн. м ³	до 0,12
2.3.	Споживання електроенергії (річне)	млн. кВт·год	до 0,5
2.4.	Собівартість 1 м ³ готової теплової ізоляції	євро	227,2
	в тому числі:		
	- природний газ	євро	118,8
	- електроенергія	євро	20,6
	- фонд оплати праці	євро	27,4
	- вихідна сировина	євро	45,7
	- амортизаційні витрати	євро	14,7

Таблиця 7. 6 - Актуальна інформація для оцінки економічної ефективності заходів по термомодернізації огорожувальних конструкцій житлових і адміністративних будівель

№ пп	Найменування позиції	Позн.	Од. вимірів	Огороджувальні конструкції	
				Стіни	Горищні перекриття (4000 град.·добу)
1.	Мінімальне значення термічного опору, яке повинно бути досягнуто шляхом додаткової теплоізоляції огорожуючих конструкцій	ΔR	$(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$	1,7	2,75
2.	Зниження середньої густини теплового потоку після термомодернізації	Δq	$\text{Вт}/\text{м}^2$	6,15	4,82
3.	<u>Теплова ізоляція на основі матів прошивних безобкладкових МТПБа [164]</u>				
3.1.	Необхідна товщина теплоізоляційного шару	x	м	0,05	0,08
3.2.	Площа теплоізолюваної поверхні, м^2 , що одержано із 1 м^3 матів МТПБа	f	м^2	20	12
3.3.	Витрати на придбання теплоізоляційних матеріалів для облаштування 1 м^2 поверхні (з урахуванням 20% прибутку виробника ізоляції та ПДВ (20%))	сEUR	євро/ м^2	5,7	9,5
4.	<u>Теплова ізоляції на основі плит теплоізоляційних ПМТБ-2 (ТУ У В.2.7. - 88.023.021-95)</u>				
4.1.	Необхідна товщина теплоізоляційного шару	x	м	0,065	0,11
4.2.	Площа теплоізолюваної поверхні, м^2 , що одержано із 1 м^3 плит ПМТБ-2	f	м^2	15	9
4.3.	Витрати на придбання теплоізоляційних матеріалів для облаштування 1 м^2 поверхні (з урахуванням 20% прибутку виробника ізоляції та ПДВ (20%))	сEUR	євро/ м^2	21,2	35,4

З метою зниження витрат енергоносіїв шляхом істотного підвищення теплоутримуючих властивостей з застосуванням довговічної, екологічної теплової ізоляції, що водночас підвищує пожежостійкість споруд, пропонуються наступні **організаційно-економічні системні заходи**, які стимулюватимуть, як виробництво такої продукції, так і її застосування у будівництві.

Заходи задля стимулювання виробництва, для юридичних осіб, що бажають створювати нові виробничі потужності з випуску базальтової теплової ізоляції, пропонується:

- сприяти одержанню довгострокових кредитів з низькою відсотковою ставкою;
- сприяти одержанню земельних ділянок під будівництво виробничих потужностей у регіонах України;
- застосовувати форми взаємодії підприємців з Державою на основі законодавства про державно-приватне партнерство (така форма відіграє значущу роль у розвитку сучасного Китаю);
- створювати таку підгалузь виробництва теплової ізоляції у формі франчайзингу, що дозволить підтримувати постійний зв'язок установ Академії наук України з підприємствами виробниками і швидко розповсюджувати практичний досвід та інновації.

Заходи задля стимулювання застосування:

- з метою сприяння широкого застосування в будівництві та стимулювання попиту з боку користувачів житла, пропонується на етапі держекспертизи проектів для будівель в яких застосовуються екологічні теплоізоляційні матеріали, що не містять органічні речовини та підвищують пожежостійкість споруд, встановлювати найвищі показники безпечності та якості;
- приватним забудовникам які використовують такі теплоізоляційні матеріали надавати цільові багаторічні пільгові кредити.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В роботі вирішується перспективна та актуальна науково-технічна проблема підвищення енергетичної ефективності виробництва базальтових волокон та теплової ізоляції на їх основі шляхом системної інтенсифікації багатостадійних тепло-технологій та її широке використання в промисловому та цивільному будівництві при умові кардинального зниження її вартості.

1. Вперше з застосуванням метода симетрій проведено автономний аналіз гідродинаміки та теплообміну в примежовому шарі рідини на пластині з урахуванням залежності в'язкості від температури та дисипативних ефектів. Визначено автономні змінні та функції. Одержано систему звичайних диференціальних рівнянь в автономній формі. Одержана система чисельно розв'язувалась для умов течії та теплообміну розплаву базальту. Встановлено, що дисипативним доданком в автономному рівнянні руху для умов, що розглядалися, можна знехтувати. Результати використано при 3D моделюванні процесу течії та теплообміну розплаву базальту у фідері модульної плавильної печі.

2. Вперше побудовано розрахункову 3D модель гідродинаміки та теплообміну розплаву базальту при ламінарному безнапірному усталеному русі з урахуванням залежності теплофізичних властивостей від температури. Досліджено умови утворення гарнісажного шару в фідері модульної плавильної печі. Встановлено причини порушення процесів витікання та формування грубих волокон на пластинчастому фільтрному живильнику. Встановлено допустимі величини теплових потоків в фідері печі, які дозволяють виключити переохолодження розплаву та досягнення ним діапазону температур, які відповідають межах кристалізації. Сформульовано вихідні дані для модернізації фідеру плавильної печі та вузла кріплення пластинчастого фільтрного живильника.

3. Побудовано розрахункову модель аеродинаміки та теплообміну повітря при складному теплообміні та змішаному русі в корпусі-теплообміннику печі плавильної. Встановлено, що в розглянутому діапазоні величин густини теплового потоку та масової витрати повітря домінуючим теплообміном між стінками каналу та повітрям є складний конвективний теплообмін, при якому на примусову конвекцію впливає вільна конвекція. Одержано узагальнюючі залежності, які дозволяють обчислити середні числа Нуссельта, температурні напори та коефіцієнти опору тертя

на поверхнях каналу. Результати використано при розробці системи керованого повітряного охолодження футеровки печі.

4. Встановлено, що реалізація принципу високотемпературного спалювання повітря (HiTAC) в теплотехнології з використанням компактних теплообмінників регенеративного типу з комірчастою структурою і пальниками регенеративного типу дозволяє підвищити енергетичну ефективність технологічного процесу. Стосовно до розглянутих умов дослідження допустимий діапазон зарядки / розрядки насадки регенератора становить [5;20] с. Чим менший період зарядки / розрядки, тим більша його ефективність. Розглянута конструкція високотемпературного компактного керамічного теплообмінника регенеративного типу характеризується високими показниками ефективності ($\epsilon=0,95$), коефіцієнта рекуперації ($ERR=0,56$) і чисел переносу ($NTU=6,2$). Результати використано при розробці системи утилізації потенціалу продуктів згоряння.

5. Експериментально досліджено тепломасообмін при зневодненні жорстких (напівжорстких) плит на основі базальтових волокон та бентонітової глини. Одержано залежність для швидкості сушіння в першому періоді, як функції від температури і швидкості агенту сушіння. Одержано узагальнену залежність для розрахунку часу повітряного конвективного сушіння теплоізоляційних базальто-бентонітових виробів різної товщини та густини. Побудовано розрахункову модель аеродинаміки сушильної камери та визначено показники її ефективності – ККД 51-59%, питомі витрати на 1 кг випареної вологи становлять 1114-932 ккал/кг. Результати використано при модернізації тунельної та конвеєрної сушильних установок виробництва жорстких та напівжорстких базальто-бентонітових виробів.

6. З застосуванням інноваційних компактних теплообмінних апаратів створено систему утилізації потенціалу високотемпературних продуктів згоряння природного газу, яка забезпечує підігрів повітря до 1300-1400 ($^{\circ}\text{C}$). В поєднанні з герметичним корпусом-теплообмінником та збільшенням продуктивності установки, перелічені заходи збільшують в 2,4 рази коефіцієнт використання палива в установці (0,79 одиниці) та на порядок її ККД (12,5%).

7. Зразки печей модульних ванних базальтоплавильних для виробництва штапельних супертонких волокон пройшли дослідно-промислові випробування та знаходяться в тривалій підконтрольній експлуатації у складі технологічних установок.

Досягнуто питомі витрати природного газу на етапі плавлення та гомогенізації розплаву – 0,65 ст. м³/кг. Досягнуто питомі енергетичні показники в цілому по технологічному процесу 2,1-2,5 ст. м³ природного газу/кг готової продукції та 2,2-2,4 кВт·год/кг готової продукції. Досягнуто зниження питомої витрати природного газу: на плавлення в 3,0-4,0 рази; в цілому по дуплекс-технології до 2,0 разів. Економічний ефект від впровадження одного агрегату 1,848 млн. грн./рік.

8. Зразок печі модульної ванної базальтоплавильної для виробництва безперервних базальтових волокон пройшов дослідно-промислові випробування та знаходиться в тривалій підконтрольній експлуатації у складі технологічної установки. Досягнуто питомі витрати природного газу на етапі плавлення та гомогенізації розплаву – 0,8 ст. м³/кг. Досягнуто питомі енергетичні показники в цілому по технологічному процесу – 0,8 ст. м³/кг та 3,0 кВт·год./кг. В технології ББВ досягнуті результати дозволили знизити у 2 рази споживання природного газу на виробництво дірект-ровінгу по відношенню до установок модульного типу. Крім того, середня міцність елементарного базальтового волокна одержаного на дослідно-промисловій установці, у 1,2-1,4 рази вища за аналогічний показник для елементарних волокон одержаних на існуючих модульних установках. Економічний ефект від провадження одного агрегату 0,133 млн. грн./рік.

9. Модернізовано конвеєрну установку для сушіння плоских напівжорстких теплоізоляційних виробів на основі базальтового супертонкого волокна. За рахунок збільшення кратності циркуляції теплоносія в сушильній камері підвищено зовнішні коефіцієнти тепломасообміну з поверхні. Інтенсифіковано процеси приготування теплоносія – суміші продуктів згоряння та атмосферного повітря, що дозволило зменшити зону масообміну та підвищити температурний рівень теплоносія. Інтенсифікація процесів приготування теплоносія та зовнішніх коефіцієнтів тепломасообміну дозволила на 27% зменшити внутрішній об'єм сушильної камери. Проведені роботи дозволили на 25-35% збільшити продуктивність установки по готовій продукції та на 15% знизити величину питомих енергетичних витрат на одиницю випареної вологи. Питомі енергетичні витрати на одиницю випареної вологи досягли 2000 ккал/кг. Економічний ефект від впровадження складає 0,554 млн. грн./рік.

10. Натурні дослідження ефективності теплоізоляції на основі базальтових волокон, проведені на різних об'єктах промислового та цивільного призначення, підтвердили її високу ефективність. Дослідні теплоізоляційні конструкції встановлені на трубопроводах гострої пари (545 °С) задовольнили вимогу максимальної температури поверхні – приведена температура поверхні зразка становила 48 °С, та вимогу економічної густини теплового потоку – приведена питома втрата теплоти через конструкцію перевищувала нормативне значення на 11% (менше 15%). Стан ізоляції вважався задовільним і таким, що підлягає паспортизації.

11. Зниження долі енергоносіїв в собівартості високоякісної вітчизняної базальтової теплової ізоляції створює основу для її широкого застосування в системі житлово-комунального господарства. Проте, необхідні організаційно-економічні системні заходи з боку держави, які б стимулювали, як виробництво такої продукції, так і її застосування у будівництві.

Наукова новизна

1. В наближенні моделі примежового шару на плоскій поверхні побудовано ма-тематичну теплофізичну модель гідродинаміки і теплопереносу при течії рідини з сильною залежністю надвисокої в'язкості від температури та з урахуванням дисипативних ефектів. Одержано нові закономірності течії аномально високов'язкої рідини при температурах 900...1450 °С. Визначено умови формування шару нерухомої рідини біля твердої поверхні. Встановлено, що дисипативним доданком в автотельному рівнянні руху для умов, що розглядалися, можна знехтувати.

2. Вперше побудовано розрахункову тривимірну модель гідродинаміки та теплообміну високов'язкого розплаву базальту при ламінарному безнапірному усталеному русі з урахуванням залежності теплофізичних властивостей, як функцій від температури. Досліджено умови утворення гарнісажного шару в фідері модульної плавильної печі.

3. Встановлено причини порушення процесів витікання розплаву та формування струмин мікронного діапазону діаметрів в пластинчастому фільтрному живильнику. Вперше встановлено діапазон допустимих величин густин теплових потоків в фідері плавильної печі, які дозволяють виключити переохолодження розплаву та досягнення ним діапазону температур, які відповідають межах кристалізації. На практиці це дозволило ефективно сформулювати вихідні дані для

модернізації фідеру плавильної печі та вузла кріплення пластинчастого фільтрального живильника.

4. Побудовано нову розрахункову тривимірну модель аеродинаміки та теплообміну повітря в вертикальному каналі з однобічним підведенням теплоти, складним теплообміном та змішаним природно-примусовим рухом. Модель враховує залежність теплофізичних властивостей від температури. Досліджено структуру течії в каналі. Знайдено закономірності формування полів швидкості і температури в каналі при однобічному підводі теплоти. Визначено залежність коефіцієнтів складного теплообміну на стінках каналу від витрати повітря та його середньої температури в каналі.

5. Вперше за результатами експериментальних досліджень тепломасообміну при зневодненні жорстких (напівжорстких) плит на основі базальтових волокон та бентонітової глини визначено закономірності процесу їх сушіння. Побудовано узагальнену розрахункову залежність часу сушіння теплоізоляційних базальтових плит з бентонітовим в'язучим від швидкості сушіння в першому періоді, а також від температури, швидкості теплоносія та безрозмірних товщини та густини матеріалу. Знайдено діапазон питомих витрат енергії для зневоднення цього матеріалу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Структура пламени / Фристром Р.М., Вестенберг А.А. Перев. с англ. – М.: Металлургия, 1969. – 364 с.
2. Физико-химические свойства стеклянного волокна / Зак А.Ф. – М.: РОСТЕХИЗДАТ, 1962. – 224 с.
3. Теплотехника: Учебник для студентов вузов / А.М. Архаров, С.И. Исаев, И.А. Кожин и др.; Под общ. ред. В.И. Крутова. – М.: Машиностроение, 1986. – 432 с.: ил.
4. Минерально-сырьевая база горных пород Украины для производства волокон. Аналитический обзор / В.И. Трефилов, М.Ф. Махова, Д.Д. Джигирис [и др.] // Промышленность строительных материалов. Серия 6. Промышленность полимерных, мягких кровельных и теплоизоляционных строительных материалов. – 1992. – Выпуск 2. – с. 88.
5. Основы производства базальтовых волокон и изделий / Д.Д. Джигирис, М.Ф. Махова. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 416 с. – (Каменный век.)
6. Господин Минерал `2001. // Бизнес. 2001. № 44, с. 34-36.
7. Furnace for manufacture of glass fibers: United States Patent 3 142 551. №824 977; filed July 6, 1959; patented July 28, 1964, 3 Claims. (Cl. 65-1)
8. Непрерывное стеклянное волокно. Основы технологии и свойства / Под ред. М.Г. Черняка. – М.: Химия, 1965, 320 с.
9. Производство стеклянных волокон и тканей / Под ред. М.Д. Ходаковского. – М.: Химия, 1973, 312 с.

10. Способ производства минеральных штапельных волокон. Трефилов В.И., Сергеев В.П., Гаврилюк Н.С., Тутаков О.В., Чувашов Ю.Н., Божко В.И., Волынец О.А., Шусть Э.А., Калинин М.Н., Нищик М.А. Патент на изобретение RU 2056377 С1 Россия: МПК С03В 37/04, С03В 37/15 № 5014545/33. Дата регистрации 04.07.1991; Дата публикации 20.03.1996.
11. Смесь для изготовления теплоизоляционного материала. Позняков В.Ф., Прийдун А.В., Сергеев В.П., Янченко В.М., Яценко О.М. Патент на изобретение RU 2044718 Россия: МПК С04В 5/00. Дата регистрации 22.07.1991; Дата публикации 27.09.1995.
12. Футлярная упаковка. Громаков В.Ф., Клипов В.Д., Межирицкий Л.А., Митрахович М.М., Мущинский В.Л., Олейник О.А., Осляк А.В., Пилютин А.Н., Сергеев В.П., Устинкин А.И. Патент на изобретение RU 2009446 Россия: МПК F42В 39/00. Дата регистрации 05.11.1991; Дата публикации 15.03.1994.
13. Стекло для стекловолокна. Бочарова И.Н., Горбачев Г.Ф., Джигирис Д.Д., Махова М.Ф., Мищенко Е.С., Сергеев В.П., Трефилов В.И., Чувашов Ю.Н. Патент на изобретение RU 2039019 Россия: МПК С03С 13/00. Дата регистрации 29.04.1992; Дата публикации 09.07.1995.
14. Ванная печь для получения расплава из горных пород. Евгеньев В.Н., Польш П.А., Сергеев В.П., Трефилов В.И., Тутаков О.В., Чувашов Ю.Н., Шусть Э.А. Патент на изобретение RU 2017691 Россия: МПК С03В 5/00. Дата регистрации 29.04.1992; Дата публикации 15.08.1994.

15. Дослідження взаємодії кераміки системи $ZrB_2 - MoSi_2$ з розплавом базальту / Т. В. Мосіна, І. П. Нешпор, О. М. Григорьев, В. В. Пасічний, В. П. Коновал, Г. Ф. Горбачев, О. О. Зубарев // Порошковая металлургия. - 2016. - № 5/6. - С. 129-135. - Бібліогр.: 4 назв. - укр.
16. Исследование физико-химических свойств минеральных волокон полученных с помощью электромагнитного технологического реактора / С.Л. Буянтуев, А.С.Кондратенко // Вестн. ВСГУТУ (Вост.-Сиб. гос. ун-та технологий и управления) – 2013. – № 5(44). – С.123–129.
17. Получение расплава базальта в плазменном электромагнитном реакторе / В.Г. Лукьященко, В.Е. Мессерле, А.Б. Устименко, К.А. Умбеткалиев, В.Н. Шевченко, З.А. Мансуров, С.Х. Акназаров // Горение и плазмохимия. – 2014. - том 12, №4. - С. 250-259.
18. Получение комбинированных изделий с неразъемными соединениями плазменно-дуговым переплавом шихты / Ю. В. Латаш, В. Н. Коледа, Г. Ф. Торхов, А. В. Лихобаба, В. П. Сергеев, Г. Ф. Горбачев // Автомат. сварка. - 2000. - № 12. - С. 68-70,75. - Библиогр.: 9 назв. - рус.
19. Плазменно-дуговая технология получения комбинированных жаростойких питателей для базальтового литья / Ю.В. Латаш, В.Н. Коледа, Г.Ф. Торхов, А.В. Лихобаба, В.П. Сергеев, Г.Ф. Горбачев // Проблемы специальной электротехнологии. — 2001. — № 3(64). — С. 34-37. — Бібліогр.: 9 назв. — рос.
20. Полимерные композиционные материалы на основе волокон различной химической природы / Кадыкова Ю. Леонтьев А. Васильева О. Артеменко С.

// Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2002. – №6. – С. 10-11.

21. Многоигольная основовязальная прошивная машина для изготовления теплозвукоизоляционных изделий / Бридун В.Д., Манзюк Н.А., Шумак И.В., Горячев О.Ю. // Оснастка, инструмент, оборудование. – 2009. – №3. – С. 48-50.
22. Інтенсифікація тепломасообмінних процесів у технології розплавлення базальту та створення і відпрацювання головних зразків плавильних печей: звіт про НДР / Інститут технічної теплофізики НАН України (ІТТФ НАН України); кер. В.О. Кремньов, А.В. Тимощенко, К., 2011. 176 с. № ДР 0109U001992.
23. Дослідження зневоднення теплоізоляційних плит на основі базальтових волокон та інших пласких матеріалів і розробка конкурентноспроможних технологій та сушарного обладнання: звіт про НДР / Інститут технічної теплофізики НАН України (ІТТФ НАН України); кер. В.О. Кремньов, В.О. Шеліманов, К., 2008. 149 с. № ДР 0106U005456.
24. Розробити технологію глибокого зневоднення екологічнобезпечних, вогнестійких теплоізоляційних виробів і головний зразок енергоефективної сушарки: звіт про НДР / Інститут технічної теплофізики НАН України (ІТТФ НАН України); кер. В.О. Кремньов, А.В. Тимощенко, К., 2010. 101 с. № ДР 0109U001993.
25. Інтенсифікація тепломасообміну при термообробці твердих дисперсних матеріалів та виробів на їх основі: звіт про НДР / Інститут технічної

теплофізики НАН України (ІТТФ НАН України); кер. А.В. Тимощенко, К., 2014. 603 с. № ДР 0112U002743.

26. Теплотехнический справочник [Текст] : В 2 т. Т. 1/ Под общ. ред. В. Н. Юренина и П. Д. Лебедева. - 2-е изд., перераб. - Москва : Энергия, 1975. - 743 с.: ил.
27. Теплотехнический справочник [Текст] : В 2 т. Т. 2/ Под общ. ред. В. Н. Юренина и П. Д. Лебедева. - 2-е изд., перераб. - Москва : Энергия, 1976. - 896 с.: ил.
28. Теплофизические характеристики дисперсных материалов / Чудновский А.Ф. – М.: Гос. изд. физ.-мат. литературы, 1962. – 456 с.
29. Майзель И.Л., Сандлер В.Г. Технология теплоизоляционных материалов: Учеб. для обучения рабочих на пр-ве. – М.: Высш. шк., 1988. – 239 с.: ил.
30. Полевой П.П. Теплообменные процессы при получении волокна раздувом минеральных нитей высокотемпературными газовыми потоками [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.14.04 / Полевой Петр Петрович. – Киев, 1982. – 193 с.
31. Полевой Р.П. Моя борьба: Воспоминания / Ред. автора. – Пермь: НП «Базальтовые технологии», 2006. – 144 с.
32. Огнеупорные материалы. Структура, свойства, испытания: справочник/ [Й. Алленштейн и др.; под ред. Г. Роучка, Х. Вутнау; пер. с нем.]. - М.: Интернет Инжиниринг, 2010. - 392 с.

33. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика / Под ред. Н.Б. Дортман. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984, 455 с.
34. Физические величины: Справочник / А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский и др.; Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с. – ISBN 5-283-04013-5
35. Татаринцева О.С. Изоляционные материалы из базальтовых волокон, полученных индукционным способом: автореф. дис. ...докт. техн. наук. Томск, 2006. 42 с.
36. Basalt Superfine Fiber Production Using a Set-up Filtered With Induction Oven / O.S. Tatarintseva, B.I. Vorozhtsov, E.G. Tolkachev // the Scientific Conference on Use of Research Conversion Results in The Siberian Instruction of Higher Education for International Cooperation, Tomsk. – 1995. – P.55.
37. Негорючая экологически чистая изоляция для трубопроводов / О.С. Татаринцева, В.П. Ковалев, Т.К. Углова // Строительные материалы. – 1998. - №5. - С. 23-24
38. Перспективы использования отходов горных пород в товарах народного потребления/ О.С. Татаринцева, Б.И. Ворожцов, Н.Н. Ходакова, Т.К. Углова // Горный журнал. – 1998. - №7. – С.40-41
39. Технологии переработки горных пород / О.С. Татаринцева, Е.Г. Толкачев // Вопросы специального машиностроения. – Сер. II. – Вып. 6(442). – 1998. – С.145-147.

40. Переработка нерудных пород в теплоизоляционные строительные и промышленные материалы / О.С. Татаринцева, М.Г. Потапов, Б.И. Ворожцов, А.В. Литвинов // Сб. докл. межд. семинара «Нетрадиционные технологии в строительстве», Томск. – 1999. – С.148-150.
41. Переработка природного камня в теплоизоляционные материалы / О.С. Татаринцева, Б.И. Ворожцов // Горный журнал. – 2000. - №4. – С.62-63.
42. Технология получения экологически чистых теплоизоляционных материалов из горных пород / О.С. Татаринцева, М.Г. Потапов, А.В. Литвинов // Материалы межд. науч.-практ. конф. “Siberia”, Новосибирск. - №7. – 2001. – С.26.
43. Экологическая безопасность производств теплоизоляционных материалов из базальта / Б.Д. Олейников, Т.В. Тихомиров, О.С. Татаринцева // Сб. докл. II Всерос. науч.-практ. конф. «Техника и технология производств теплоизоляционных материалов из минерального сырья», Бийск, М.: ЦЭИ «Химмаш», 2002. – С.9-10.
44. Расчет производительности процесса сушки при получении теплоизоляционных плит из базальтовой ваты / О.С. Татаринцева, М.Г. Потапов, Ю.В. Хрусталева, А.В. Литвинов // Сб. докл. II Всерос. науч.-практ. конф. «Техника и технология производств теплоизоляционных материалов из минерального сырья», Бийск, М.: ЦЭИ «Химмаш», 2002. – С.16-18.
45. Влияние температуры получения базальтовых расплавов на их характеристики / О.С. Татаринцева, Н.Н. Ходакова // Сб. докл. II Всерос. науч.-практ.

- конф. «Техника и технология производств теплоизоляционных материалов из минерального сырья», Бийск, М.: ЦЭИ «Химмаш», 2003. – С.18-21.
46. Прогнозирование вязкости расплавов по химическому составу сырья / О.С. Татаринцева, С.С. Бондарчук // Сб. докл. II Всерос. науч.-практ. конф. «Техника и технология производств теплоизоляционных материалов из минерального сырья», Бийск, М.: ЦЭИ «Химмаш», 2003. – С.21-24.
47. Структура турбулентной струи энергоносителя в вихревой раздувочной головке для формирования / С.С. Бондарчук, О.С. Татаринцева // Сб. докл. II Всерос. науч.-практ. конф. «Техника и технология производств теплоизоляционных материалов из минерального сырья», Бийск, М.: ЦЭИ «Химмаш», 2003. – С.25-27.
48. Влияние спектра звука раздувочных головок на параметры минеральной ваты / А.Ю. Бессонов, А.В. Литвинов, О.С. Татаринцева, С.П. Кожарский // Сб. докл. II Всерос. науч.-практ. конф. «Техника и технология производств теплоизоляционных материалов из минерального сырья», Бийск, М.: ЦЭИ «Химмаш», 2003. – С.39-40.
49. Сравнительная оценка волокнистых теплоизоляционных материалов / О.С. Татаринцева, Н.Н. Ходакова // Сб. докл. II Всерос. науч.-практ. конф. «Техника и технология производств теплоизоляционных материалов из минерального сырья», Бийск, М.: ЦЭИ «Химмаш», 2003. – С.53-57.
50. Непрерывная технологическая линия переработки минерального сырья в теплоизоляционные плиты / В.В. Фирсов, О.С. Татаринцева, В.В. Самойленко

// Сб. «Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях», Бийск: Изд-во АлГТУ, 2003. – С.192-196.

51. Сравнительная оценка способов получения полужестких минеральватных плит / В.В. Фирсов, О.С. Татаринцева, В.В. Самойленко // Сб. докл. IV Всерос. науч. – практ. конф. «Техника и технология производства материалов из материального сырья», Бийск, М.: ЦЭИ «Химмаш», 2004. – С.47-49.
52. Параметры истечения струи расплава при формировании базальтовых волокон / В.А. Архипов, С.С.Бондарчук, О.С. Татаринцева, Б.И. Ворожцов // Сб. докл. IV Всерос. науч. – практ. конф. «Техника и технология производства материалов из материального сырья», Бийск, М.: ЦЭИ «Химмаш», 2004. – С.70-74.
53. Феноменологическое исследование преобразования расплава в волокно / Б.И. Ворожцов, О.С. Татаринцева // Сб. докл. IV Всерос. науч. – практ. конф. «Техника и технология производства материалов из материального сырья», Бийск, М.: ЦЭИ «Химмаш», 2004. – С.74-78.
54. Определение сроков эксплуатации базальтоволоконистых теплоизоляционных материалов / О.С. Татаринцева, Т.К. Углова, Г.С. Игонин // Строительные материалы. – 2004. -№11. – С.14-15.
55. Компактная установка по выпуску базальтоволоконистой теплоизоляции для энергетических предприятий / О.С. Татаринцева, В.В. Самойленко, Н.Н. Ходакова, В.В. Фирсов // Промышленная энергетика. – 2004. -№11. – С.38-40.

56. Технологическая линия переработки горных пород в теплоизоляционные плиты / О.С. Татаринцева, В.В. Самойленко, В.В. Фирсов // Строительные материалы. – 2005. -№3. – С.24-25.
57. Режимы распада струи расплава при формировании базальтовых волокон / В.А. Архипов, О.С. Татаринцева, Б.И. Ворожцов и др. // Сб. докл. V Всерос. науч. – практ. конф. «Техника и технология производства материалов из материального сырья», Белокуриха, М.: ЦЭИ «Химмаш», 2005. – С.25-28.
58. Влияние химического состава базальтовых волокон на устойчивую к агрессивным средам / Д.Е. Зимин, Н.Н. Ходакова, О.С. Татаринцева // Сб. докл. V Всерос. науч. – практ. конф. «Техника и технология производства материалов из материального сырья», Белокуриха, М.: ЦЭИ «Химмаш», 2005. – С.38-44.
59. Механизмы преобразования расплава в волокно / О.С. Татаринцева, Б.И. Ворожцов // Ползуновский вестник. – 2006. - №2. – С.149-157.
60. Особенности плавления горных пород и волокнообразования из расплавов / О.С. Татаринцева, Д.Е. Зимин // Ползуновский вестник. – 2006. - №2. – С.158-162.
61. Исследование влияния агрессивных сред на прочностные характеристики волокон в зависимости от их химического состава / Д.Е. Зимин, Н.Н. Ходакова, О.С. Татаринцева // Сб. докл. III Всерос. конф. молодых ученых «Фундаментальные проблемы новых технологий в 3-м тысячелетии», Томск, изд-во Института оптики и атмосферы СО РАН. – 2006. – С.345-348.

62. Групповые методы в теплофизике / Авраменко А.А., Басок Б.И., Кузнецов А.В.; Под ред. А.А. Долинского – Киев: Наукова думка, 2003. – 484 с.
63. Avramenko A. A., Blinov D. G., and Shevchuk I. V. (2011). Self-similar analysis of fluid flow and heat-mass transfer of nanofluids in boundary layer. PHYSICS OF FLUIDS 23, 082002 (2011).
64. Symmetry of turbulent boundary-layer flows: Investigation of different eddy viscosity models / Avramenko A. A., Kobzar S.G., Shevchuk I.V., Kuznetsov A.V., Iwanisov L.T. // Acta Mechanica. – 2001. – 151, N 1-2. – P.1-14.
65. Symmetry analysis and self-similar forms of fluid flow and heat-mass transfer in turbulent boundary layer flow of a nanofluid / Avramenko A. A., Blinov D. G., Shevchuk I. V., Kuznetsov A. V. // Phys. Fluids. – 2012. – 24. – P. 092003-1 – 092003-20.
66. Symmetry analysis for film boiling of nanofluids on a vertical plate using a non-linear approach / Avramenko A. A., Shevchuk I. V., Abdallah S., Blinov D. G., Harmandd S., Tyrinov A. I. // Journal of Molecular Liquids. – 2016. – 223. – P. 156 – 164.
67. Self-similar analysis of fluid flow, heat, and mass transfer at orthogonal nanofluid impingement onto a flat surface / Avramenko A. A., Shevchuk I. V., Abdallah S., Blinov D. G., Tyrinov A. I. // Phys. Fluids. – 2017. – 29. – P. 052005-1 – 052005-11.
68. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: Учебник для вузов. – 7-е изд., испр. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с., 311 ил., 22 табл. – (Классики отечественной науки).

69. Базальтовая вата: История и современность (сборник материалов) / Под ред. А.Н. Земцова. – Пермь, 2003 – 124 с.
70. IARC MONOGRAPHS PROGRAMME RE-EVALUATES CARCINOGENIC RISKS FROM AIRBORNE MAN-MADE VITREOUS FIBRES / Press release N° 137 24 October 2001; [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono81.pdf>.
71. Стекланные волокна. Учебное пособие для студентов по специальности «Композиционные материалы» / Гутников С.И., Лазорьяк Б.И., Селезнев А.Н. – Москва: МГУ им. Ломоносова, 2010. – 53 с.
72. Влияние скорости охлаждения базальтовых расплавов на прочность непрерывных волокон в процессе их формирования / С.Г. Иваницкий, М.Б. Штерн, Ю.Н. Чувашов // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк – 2013. – Випуск №41, частина 1. – С. 92-98.
73. Изучение теплофизических и механических свойств базальтовых волокон, используемых для армирования конструкционных материалов / Г. Ф. Горбачев, С. Г. Иваницкий, В. П. Сергеев // Пром. теплотехника. - 2001. - 23, № 4-5. - С. 146-148. - Библиогр.: 4 назв. - рус.
74. Численное моделирование теплообмена в фильере в процессе формирования непрерывных базальтовых волокон / Г. Ф. Горбачев, С. Г. Иваницкий, В. С. Сперкач // Пром. теплотехника. - 2003. - 25, № 2. - С. 41-46. - Библиогр.: 4 назв. - рус.
75. Проблемы получения непрерывных базальтовых волокон и моделирование технологий их формирования. II. Оптимизация технологии формирования

- волокон методом моделирования теплообменных процессов в фильтре / С. Г. Иваницкий, Г. Ф. Горбачев // Порошковая металлургия. - 2011. - № 5/6. - С. 3-11. - Библиогр.: 13 назв. - рус.
76. Проблемы получения непрерывных базальтовых волокон и моделирование технологий их формирования. I. Современное состояние технологий получения непрерывных базальтовых волокон / С. Г. Иваницкий, Г. Ф. Горбачев // Порошковая металлургия. - 2011. - № 3/4. - С. 3-9. - Библиогр.: 25 назв. - рус.
77. Вплив кристалізаційних властивостей базальтових розплавів при формуванні неперервних волокон на їх міцнісні характеристики / Іваницький С.Г., Штерн М.Б., Чувашов Ю.М. // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк – 2017. – Випуск №58. – С. 174-178.
78. Релаксационные эффекты в неравновесных конденсированных системах. Базальты: от извержения до волокна / Аблесимов Н.Е., Земцов А.Н. – Москва: РАН Дальневосточное отделение. Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина, 2010. – 400 с.
79. Шиляев А.И. Разработка методов и средств снижения концентрации неволокнистых включений при производстве базальтового волокна дуплексным способом: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Шиляев Андрей Иванович. – Ижевск, 2012. – 19 с.
80. Определение рациональных условий вытягивания первичных нитей при производстве волокна из базальтового сырья дуплекс-способом / Шиляев А.

И. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2011. – № 3(31). – С. 174–179.

81. Методика исследований процессов образования неволоконистых включений при производстве волокна из минерального сырья дуплекс-способом / Шиляев А. И. // Вестник ИжГТУ. – 2010. – № 4(48). – С. 29–31.
82. Методика контроля процесса получения базальтового волокна дуплекс-способом / А. И. Шиляев, К. П. Широбоков // Интеллектуальные системы в производстве. – 2010. – № 2(16). – С. 77–81.
83. Исследование вихревого датчика уровня расплава / Шиляев А. И. // Современные проблемы машиностроения : Тр. V Междунар. науч.-техн. конф. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – С. 513–516.
84. Влияние параметров технологического процесса на качество супертонкого базальтового волокна / Шиляев А. И. // Современные вопросы науки XXI век : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., 27 июля 2011 г. – Вып. VII, ч. 2. – Тамбов : Изд-во ТРОО «Бизнес–Наука–Общество», 2011. – С. 151–152.
85. Моделирование технологического процесса получения штапельного волокна способом вертикального раздува расплава воздухом / А. И. Шиляев, К. П. Широбоков // Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья (Белокуриха, 2008) : тр. Всерос. науч.-практ. конф., 21–23 мая 2008 г. – Бийск : Изд-во БТИ АлтГТУ им. Ползунова, 2008. – С. 62–66.

86. Определение условий образования каплеобразных и петлеобразных неволоконистых включений в производстве супертонкого базальтового волокна / Шиляев А. И. // Актуальные проблемы науки : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., 27 сентября 2011 г. – Тамбов : Изд-во ТРОО «Бизнес–Наука–Общество», 2011. – С. 159–163.
87. История и перспективы развития производств минеральной теплоизоляции / Шиляев А. И. // Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья : тр. Всерос. науч.-практ. конф., 17–19 июня 2009 г. – Бийск : Изд-во БТИ АлтГТУ им. Ползунова, 2009. – С. 5–9.
88. Технология получения композиционных жаростойких материалов для изготовления фильерных пластин при производстве базальтового супертонкого / А. И. Шиляев, П. Н. Мельников // Перспективные разработки науки и техники : сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф., 7–15 октября 2011 г. (Przemys, Польша). – Белград : Nauka I studia, 2011. – С. 77–80.
89. Образование длинных цилиндрических неволоконистых включений в производстве супертонкого базальтового волокна / Шиляев А. И. // Наука сегодня: теоретические аспекты и практика применения : сб. науч. тр., 28 октября 2011 г. – Тамбов : Изд-во ТРОО «Бизнес–Наука–Общество», 2011. – С. 147–150.
90. Образование длинных цилиндрических неволоконистых включений в производстве супертонкого базальтового волокна / Шиляев А. И. // Наука сегодня: теоретические аспекты и практика применения : сб. науч. тр., 28

октября 2011 г. – Тамбов : Изд-во ТРОО «Бизнес–Наука–Общество», 2011.
– С. 147–150.

91. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.calc.ru/dinamika-Gas.html>
92. Теплоизоляция. Материалы, конструкции, технологии: Справочное пособие / Гл. ред. С.М. Кочергин. – М.: Стройинформ, 2008. – 440 с.: ил.
93. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука. – 1969. – 387 с.
94. Кричевский И.Р. Понятия и основы термодинамики. – М.: Химия. – 1970. – 440 с.
95. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы для инженеров: Учеб. пособие – М.: Высш. шк., 1994. – 544 с.: ил.
96. ANSYS Help Viewer, Version: 16.2.0, © 2015 SAS IP, Inc.
97. Петухов Б.С. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении жидкости в трубах – М.: Изд. «Энергия», 1967. – 412 с., ил.
98. Кириллов П.Л., Богословская Г.П. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках // Учеб. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 456 с.: ил.
99. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы) // П.Л. Кириллов, Ю.С. Юрьев, В.П. Бобков; под общ. ред. П.Л. Кириллова – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990.- 360 с.: ил.

- 100.РБ-040-09 Расчетные соотношения и методики расчета гидродинамических и тепловых характеристик элементов и оборудования водоохлаждаемых ядерных энергетических установок. – М: НТЦ ЯРБ, 2009. – 252 с.
- 101.Петухов Б.С., Кириллов В.В. К вопросу о теплообмене при турбулентном течении жидкости в трубах. – Теплоэнергетика, 1958, №4.
- 102.Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: Пер. с англ./ Справочник. – М.: Атомиздат, 1979. – 216 с.
- 103.Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 367 с.: ил.
- 104.Кутателадзе С.С., Боришанский В. М. Справочник по теплопередаче. - Л.; М.: Госэнергоиздат, 1959. – 174 с.
- 105.Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.: ил.
- 106.Идельчик И.Е. Гидравлические сопротивления. – М.: Госэнергоиздат, 1954. – 316 с.
- 107.Справочник по теплообменникам: В 2 т. Т. 1 / Пер. с англ., под ред. Б.С. Петухова, В.К. Шикова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 560 с., ил.
- 108.Справочник по теплообменникам: В 2 т. Т. 2 / Пер. с англ., под ред. О.Г. Мартыненко и др. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 352 с., ил.
- 109.Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: Учебник для вузов Изд. 4-е перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 416 с., ил.

110. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи Изд. 2-е перераб. М., Энергия, 1977. – 344 с., ил.
111. Зигель Р., Хауэлл Дж. Теплообмен излучением / Перевод с английского. Под ред. Б.А. Хрусталева. – М.: Мир, 1975. – 934 с.
112. Блох А.Г. и др. Теплообмен излучением: Справочник / А.Г. Блох, Ю.А. Журавлев, Л.И. Рыжков. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.: ил.
113. Основы практической теории горения / под ред. В.В. Померанцева, Изд. 2-е, перераб. и доп. Ленинград, Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1986. – 310 с.
114. Ткаченко О.О. Високотемпературні процеси та установки: Підруч. – К.: А.С.К., 2005. – 480 с.
115. Базальтовое непрерывное волокно – вчера, сегодня, завтра. Развитие технологий и оборудования, промышленных производств и сбыта / С.П. Оснос, М.С. Оснос // Композитный мир. – 2015. - №4. – С. 24-30.
116. Исследование процессов плавления базальтов при производстве непрерывных базальтовых волокон [Электронный ресурс] / С.П. Оснос – Режим доступа: <http://basaltfm.com/ru/articles/article11.html>.
117. Исследование процессов плавления базальтов при производстве непрерывных базальтовых волокон [Электронный ресурс] / С.П. Оснос – Режим доступа: <http://basaltfm.com/ru/articles/article11.html>.
118. Некоторые аспекты технологического процесса получения базальтового непрерывного волокна [Электронный ресурс] / А.Г. Новицкий, М.В. Ефремов – Режим доступа: <http://novitsky1.narod.ru/basalt.continius.fiber.html>.

119. Особенности технологического процесса получения базальтового непрерывного волокна: докл. X Всеросс. научно–практ. конф. «Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья:» / А.Г. Новицкий, М.В. Ефремов // Бийск: БТИ АлтГТУ, 2010. – С.16-20.
120. Особенности получения непрерывного химически стойкого базальтового волокна [Электронный ресурс] / А.Г. Новицкий, М.В. Ефремов – Режим доступа: <http://novitsky1.narod.ru/basalt5.htm>.
121. Preliminary experiments for the production of basalt ceramic fibers [Электронный ресурс] / D. Pico, T. Go, G. Seide, T. Gries – Режим доступа: <https://basalt.today/images/Pico-Go-Seide-Gries.pdf>.
122. High Temperature Heat Exchangers (HTHE) / Bengt Sundén // Proceedings of Fifth International Conference on Enhanced, Compact and Ultra-Compact Heat Exchangers: Science, Engineering and Technology, Eds. R.K. Shah, M. Ishizuka, T.M. Rudy, and V.V. Wadekar, Engineering Conferences International, Hoboken, NJ, USA, September 2005. – 226-238 pp.
123. Ohadi M.M., and Buckley S.G., 2001, High Temperature Heat Exchangers and Microscale Combustion Systems: Applications to Thermal System Miniaturization, *Experimental and Fluid Science*, Vol. 25, No. 5, pp. 207-217.
124. Shah P.K., 2003, Heat Exchangers for Fuel Cell Systems, in *Compact Heat Exchangers and Enhancement Technology for the Process Industries- 2001*, Begell House, New York, pp. 205-215.
125. Jolly A.J., O’Doherty T., and Bates, C.J., 1998, COHEX: A Computer Model for Solving the Thermal Energy Exchanger in an Ultra High Temperature Heat

- Exchanger. Part A: computational theory, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 18, pp.1263-1276.
- 126.Kumada, M., 1999, A Study on the High Performance Ceramic Heat Exchanger for Ultra High Temperatures, *Heat Transfer Enhancement of Heat Exchangers*, Eds: S. Kakac et al. Kluwer Academic Publishers, pp. 301-324.
- 127.Kumada M. and Hanamura K., 2003, Research and Development on the High Performance Ceramic and Heat Exchangers, *Int. J. Heat Exchangers*, Vol. IV, pp. 201-208.
- 128.McDonald C.F., 2003, Recuperator Considerations for Future Higher Efficiency Microturbines, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 23, pp.1463-1487.
- 129.Thermal performance analysis on a two composite material honeycomb heat regenerators used for HiTAC burners / Nabil Rafidi, Wlodzimierz Blasiak // *Applied Thermal Engineering*. – 2005. №25(2005). – С.2966-2982. DOI:10.1016/j.applthermaleng.2005.03.004.
- 130.H. Tsuji, A. Gupta, T. Hasegawa, M. Katsuki, K. Kishimoto, M. Morita, High Temperature Air Combustion; from Energy Conservation to Pollution Reduction, CRC Press LLC, New York, 2003.
- 131.R. Tanaka, New progress of energy saving technology toward the 21st century; frontier of combustion & heat transfer technology, in: Proceedings of 11th IFRF, The Netherlands, 1995.
- 132.Кэйс В.М. Компактные теплообменники / В.М. Кэйс, А.Л. Лондон, Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1967. – 224 с.: ил.

- 133.Кэйс В.М. Конвективный тепло- и массообмен.- М.: Энергия, 1972.- 448 с.
- 134.Казанцев Е.И. Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и проектирования. 2-е издание, дополненное и переработанное, М., Металлургия, 1975. - 368 с.
- 135.Расчет нагревательных и термических печей. Справочник под ред. Тымчака, Гусовского, М.: Металлургия, 1983. - 480 с.
- 136.Мастрюков Б.С. Теплотехнические расчеты промышленных печей, Металлургия, 1972. - 368 с.
- 137.Зайцев В.Ф., Полянин А.Д. Метод разделения переменных в математической физике. – СПб., 2009. – 92 с. – ISBN 978-5-94777-211-1.
- 138.Лыков А.В. Теория теплопроводности. М., Высшая школа, 1967. – 600 с.
- 139.Лыков А.В. Тепло- и массообмен в процессах сушки; М.; Л.; Госэнергоиздат, 1956. – 464 с.
- 140.Зайдель А.Н. Элементарные оценки ошибок измерений. Изд. 2-е испр. и доп. Л., «Наука», Ленинградское отд., 1967.
- 141.Бронштейн И.М., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов.- М.: «Наука», гл.ред.физ.-мат.лит., 1986. - С. 544.
- 142.Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы: Учебник для вузов по специальности “Автоматизация теплоэнергетических процессов.” 3-е изд., перераб. – М.: “Энергия”, 1978. – 704 с., ил.
- 143.Лыков Л.В.Теория сушки. М., «Энергия», 1968. – 472 с.
- 144.Лыков А.В. Тепломассообмен / Справочник. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.

- 145.О.А. Кремнев, И.М. Пиевский Теплообменные процессы в производстве гипсовых и гипсобетонных строительных материалов. К., Наукова Думка, 1989. -188 с.
- 146.К вопросу расчета температуры материала в первом периоде конвективной сушки нагретым воздухом / А. А. Долинский, В. А. Шелиманов // Пром. теплотехника. - 2000. - 22, № 4. - С. 40-45.
- 147.Боровский В.Р., Шелиманов В.А. Теплообмен цилиндрических тел малых радиусов и их систем. – Киев: Наук. думка, 1985. – 208 с.
- 148.Динамика процессов тепломассопереноса, фазовых превращений и усадки при обезвоживании коллоидных капиллярно-пористых материалов / Н. И. Никитенко, Ю. Ф. Снежкин, Н. Н. Сороковая // Пром. теплотехника. - 2003. - 25, № 3. - С. 56-66.
- 149.Кришер О. Научные основы техники сушки сушки.- М. : Издательство, 1961, - 540 с.
- 150.Гинзбург.А.С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. – М.: Агропромиздат, - 1985. – С.335.
- 151.Красников В.В. Кондуктивная сушка / Валерий Владимирович Красников. – М.: Энергия, 1973. – 288 с.
- 152.Сажин Б.С. Основы техники сушки / Борис Степанович Сажин. – М.: Химия, 1984. – 320 с.
- 153.Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод). Под ред. Н.В. Кузнецова и др. - М.: «Энергия», 1973, с. 296 с ил.

154. Вукалович М.П. Термодинамические свойства воды и водяного пара. - М.: Машгиз, 1067.- С.159.
155. Н.М. Мхитарян. Энергосберегающие технологии в жилищном и гражданском строительстве.- К.: Наук.думка, 2000. -416 с.
156. В.П. Хоменко, Г.Г. Фаренюк. Справочник по теплозащите зданий. – К.: Будівельник. 1986. -216 с.
157. Н.Бойко Главней всего – погода в доме – Строительство и реконструкция, №10, 2002, с.26-29.
158. Тепло вашему дому. –Будмайстер, №20, 2002, с.24-25.
159. Базальтовые вариации / Ветров Ю., Новицкий А. // Капстроительство. 2002. №3. С.40-42.
160. Левинсон-Лессинг Ф.Ю., Белянкин Д.С. Петрографические таблицы. 5-е издание, исправленное и дополненное. Л.-М.-Новосибирск: Государственное научно-техническое горно-геолого-нефтяное издательство, 1933. - 102 с.
161. Граменицкий Е.Н., Котельников А.Р., Батанова А.М., Щекина Т.И., Плечов П.Ю. Экспериментальная и техническая петрология. - М.: Научный Мир, 2000. - 416 с.
162. Теплофизические свойства горных пород / В.В. Бабаев, В.Ф. Будымка, Т.А. Сергеева и др. – М.: Недра, 1987. – 156 с.
163. Липовский И.Е., Дорофеев В.А. Основы петрургии. – М.: Metallurgy, 1972. - 320 с.
164. ТУ У В.2.7-23.9-00292818-001:2012 Маты прошивные безобкладочные МТПБа.

- 165.ДСТУ Б В.2.7-316:2016 «Плити та картон мінераловатні теплоізоляційні. Технічні умови». – Київ., 2017. – 18 с.
- 166.ДСТУ Б В.2.7-317:2016 «Мати та шнури мінераловатні теплоізоляційні. Технічні умови». – Київ., 2017. – 20 с.
- 167.ДСТУ Б В.2.7-318:2016 «Вата мінеральна. Технічні умови». – Київ., 2017. – 18 с.
- 168.СНиП II-3-79**. Строительная теплотехника / Госстрой СССР. – М: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 32 с.
- 169.СНиП 2.04.14-88 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.
- 170.ДБН В.2.6-31:2006 Теплова ізоляція будівель / Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України. – Київ: Мінбуд України, 2006. – 40 с.
- 171.ДСТУ Б EN 13187:2011 (EN 13187:1998б IDT) «Теплові характеристики будівель. Якісне виявлення теплових відмов в огорожувальних конструкціях. Інфрачервоний метод»
- 172.НПАОП 0.00-1.69-13 «Правила охорони праці під час експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій, теплових мереж і тепловикористовувальних установок».
- 173.РД 34.20.141 Нормы проектирования тепловой изоляции для трубопроводов и оборудования тепловых и атомных электростанций (НР 34-70-118-87, утвержденные Минэнерго СССР 25.12.86 г.).
- 174.РД 34.20.321 Методические указания по испытанию тепловой изоляции оборудования и трубопроводов ТЭС (МУ 34-70-184-87).

- 175.РД 34.26.095-91 Инструкция по выполнению тепловой изоляции оборудования и трубопроводов тепловых и атомных электростанций.
- 176.РД ЭО 0586-2004 Нормы проектирования тепловой изоляции оборудования и трубопроводов атомных станций.
- 177.ГОСТ 4385-68 Изделия огнеупорные классификация (техническая).
- 178.ГОСТ 28874-2004 Огнеупоры. Классификация.
- 179.ГОСТ 23053-78 Изделия огнеупорные бадделеито-корундовые для стекловаренных печей. Технические условия.
- 180.ГОСТ 24704-94 Изделия огнеупорные корундовые и высокоглиноземистые. Технические условия.
- 181.ГОСТ 3910-75 Изделия огнеупорные динасовые для кладки стекловаренных печей. Технические условия.
- 182.ГОСТ 10888-93 Изделия высокоогнеупорные периклазохромитовые для кладки сводов сталеплавильных печей. Технические условия.
- 183.ГОСТ 390-96 Изделия огнеупорные шамотные и полукислые общего назначения и массового производства. Технические условия.
- 184.ГОСТ 4689-94 Изделия огнеупорные периклазовые. Технические условия.
- 185.ГОСТ 10380-63 Изделия огнеупорные магнезиальные для футеровки вращающихся цементных печей.
- 186.РОТИС. Черновицкий завод теплоизоляционных материалов. Продукция [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://rotys.com/products.php> – Название с экрана.

- 187.[Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.sklo.kiev.ua/?mid=11&action=news_detail&new_id=241 – Название с экрана.
- 188.[Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://life.ru/t/новости/112431> – Название с экрана.
- 189.[Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.bbc.com/russian/features-40276168> – Название с экрана.
- 190.[Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.bbc.com/russian/news-40366259> – Название с экрана.
- 191.[Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://fire-truck.ru/encyclopedia/pozhar-na-kamaz-14-aprelya-1993-goda-fakty-i-komentarii.html> – Название с экрана.

Додаток А Властивості гірських порід

Таблиця А.1 Хімічний склад деяких гірських порід розташованих на території України [4]

Родовище	Масова частка оксиду %												
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	SO ₃	п.п.п.	Мк*
Андезитобазальти													
Підгірнянське Закарпатської області	52,8- 54,17	1,02- 1,17	17,23- 18,14	5,28- 5,70	5,03- 5,10	7,99- 8,44	2,26- 3,72	2,18- 2,24	1,37- 1,56	0,13- 0,25	0,03- 0,04	0,11- 2,43	6,87- 5,13
Базальти													
Іванова Долина Рівненської області	48,87	2,75	14,97	8,47	6,39	8,34	5,13	1,50	0,75	0,20	0,15	2,00	4,17
Берестовецьке Рівненської області	49,03	2,85	12,59	3,88	10,15	9,53	5,47	2,34	0,66	0,32	0,16	2,59	4,25
Діабази													
Васильківське Дніпровської області	49,0	1,6	15,8	15,0		10,3	4,8	3,3		-	-	0,2	4,29
«Салтичія» Запорізької області	53,4	0,7	15,0	11,2		9,2	6,0	3,3		-	-	1,4	7,51- 7,41
Амфіболіти													
Тальнівське Черкаської області	48,5- 49,8	16,0-17,0		16,5-17,5		9,5- 10,5	6,0- 7,5	2,5-3,0		-	-	0,3-0,8	4,11

* - модуль кислотності розраховується за формулою А.1

$$M_k = (SiO_2 + Al_2O_3) / (CaO + MgO), \quad (A.1)$$

Таблиця А.2 Мінералогічний склад гірських порід

Родовище	Склад, %									Джерело
	Плагіоклаз	Гіперстен	Рудний мінерал	Скло	Хлорит	Плагоніт	Піроксен	Гідрослюди	Рогова обманка	
Підгірнянське Закарпатської області	10-15	-	-	74-83	-	-	2-3	2	-	[4, стор. 3]
Іванова Долина Рівненської області	30-40	25-38	5-15	15-33	3-5	знаки	-	-	-	[4, стор. 21]
Берестовецьке Рівненської області	30-40	-	10-15	20-30	-	до 1	20-30	-	-	[4, стор. 21]
Тальнівське Черкаської області	30-48	-	2-10	-	-	-	-	-	40-65	[4, стор. 65]

Таблиця А.3 Теплотехнічні характеристики деяких гірських порід

Родовище	Інтервал плав- лення, °С	Верхня/нижня межа кристаліза- ції, °С	Джерело
Підгірнянське Закарпатської області	1165-1375		[4, стор. 15, табл. 4]
Іванова Долина Рівненської області	1160-1350	1250/910	[4, стор. 29, табл. 10], [5, стор. 296]
Берестовецьке Рівненської області	1165-1340	1250/910	[4, стор. 29, табл. 10], [5, стор. 296]
Васильківське Дніпровської області	1215-1425		[4, стор. 52, табл. 25]
«Салтичія» Запорізької області	1370-1450		[4, стор. 62, табл. 33]
Тальнівське Черкаської області	1175-1375		[4, стор. 67, табл. 35]

Таблиця А.4 Температурно-в'язкісна характеристика скла з базальту родовища Іванова Долина [30, стор. 66]

№ пп	Температура, °С	Динамічна в'язкість, Па·с
1	550	1,00E+14
2	600	1,40E+12
3	650	1,70E+10
4	700	4,60E+08
5	750	2,40E+07
6	800	2,00E+06
7	850	2,60E+05
8	900	42600
9	950	9482
10	1000	2611
11	1050	857
12	1100	325,8
13	1150	140
14	1200	66,8
15	1250	34,8
16	1300	19,5
17	1350	11,7
18	1400	7,4
19	1450	4,9

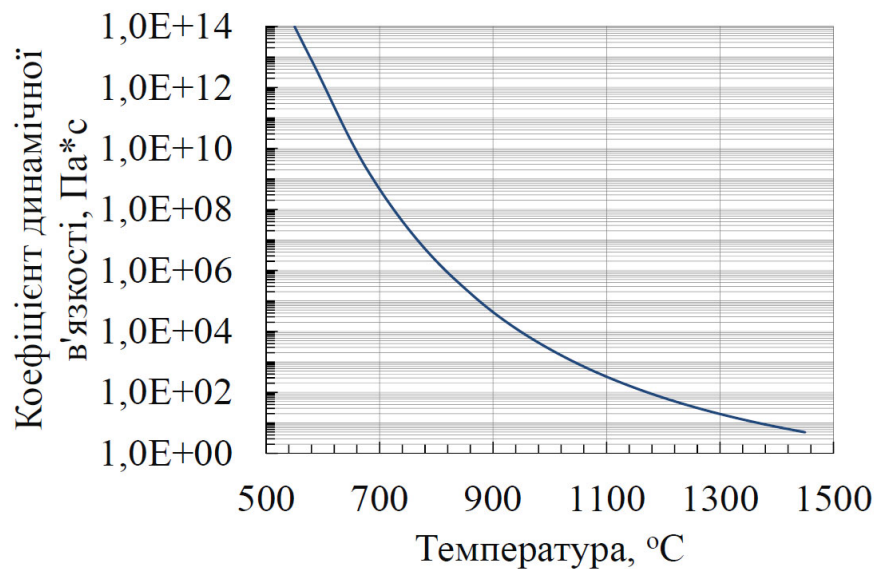


Рисунок А. 1 – Температурно-в'язкісна характеристика скла з базальту родовища Іванова Долина

Залежність динамічної в'язкості розплаву, як функції від хімічного складу гірської породи, модуля кислотності та температури [35]

$$\mu = 3,62(SiO_2)^{3,07}(Al_2O_3)^{-0,16}(CaO)^{-0,40}(FeO + Fe_2O_3)^{1,34}(Mк)^{1,25}(t - 1100)^{-2,58} \quad (A.2)$$

де μ – динамічна в'язкість розплаву гірської породи, Па·с; Мк – модуль кислотності (А.1); SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , FeO , Fe_2O_3 – масовий вміст оксиду, %; t – температура розплаву, °С.

Теплофізичні характеристики базальтів:

- питома теплоємність [34]:	273 К	0,85 кДж/(кг·К);
	1473 К	1,49 кДж/(кг·К);
- питома вага [33, 34]:		2500...3250 кг/м ³
розрахункова питома вага базальту з родовища Янова Долина		2500 кг/м ³ ;
- теплопровідність [33]:	середня	1,3 Вт/(м·К);
діапазон		0,44...3,5 Вт/(м·К);
- температуропровідність [9]:	середня	$6,29 \cdot 10^{-7}$ м ² /с;
діапазон зміни		$(3,44...13,45) \cdot 10^{-7}$ м ² /с.

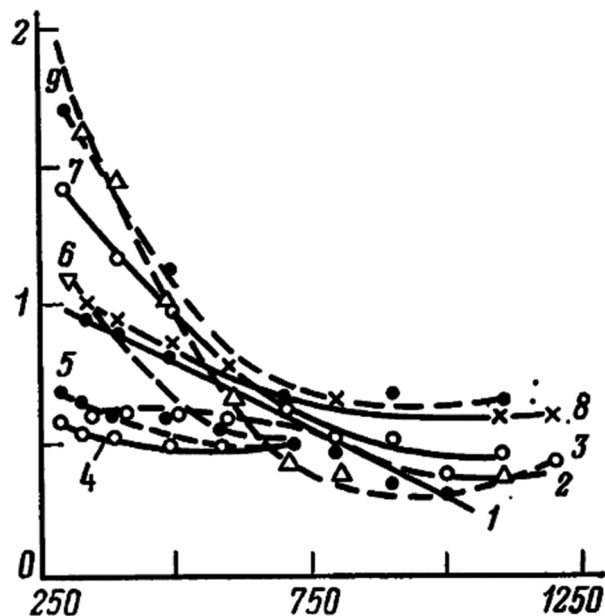


Рисунок А. 2 Залежність температуропровідності гірських порід від температури [33, стор. 272]: 1 – діорит; 2 – граніт; 3 – базальт; 4 – обсидіан; 5 – олівіновий базальт; 6 – середньозернистий двохслюдяний граніт; 7 – лерцоліт; 8 – мікроклін; 9 - гарцбургіт. По осі абсцис – температура (К), по осі ординат – температуропровідність (10^{-6} м²/с).

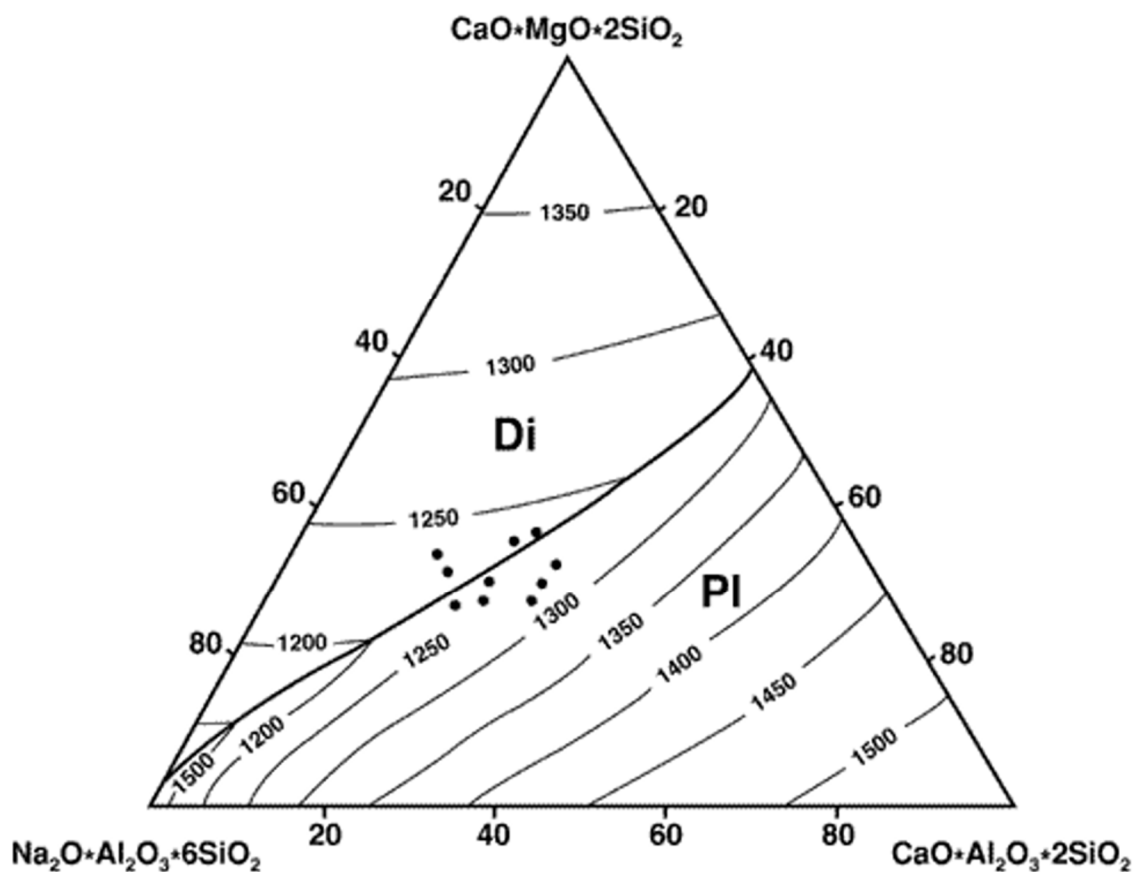


Рисунок А. 3 - Фігуративні точки складів порід (базальтів і діабазів різних родовищ), придатних за складом для петругічного виробництва, на діаграмі альбіт-анортит-диопсид (за Д.С. Белянкіним) [160, 161].

Додаток Б Властивості вогнетривких матеріалів

Таблиця Б. 1 - Властивості вогнетривких матеріалів [32]

Виріб	Норма- тив	ρ , (кг/м ³)	λ , (Вт/м·°C)	c_p , (кДж/(кг·°C))	$\alpha_t \cdot 10^6$, (°C ⁻¹)	$t_{п.р.}$, (°C)	Примітка
Високовогнетривкі периклазохромітові (ПХСУ, ПХСОС)	[182]	2950... ...3040	$2,58-70 \cdot 10^{-5}t$	$0,67+4,8 \cdot 10^{-4}T+2,83 \cdot 10^3T^{-2}$ *	9...12	1540... ...1560	магнезіальношпінелідні (MgO 70%, Cr ₂ O ₃ (7...15)%)
Вогнетриви корундові та високоглиноземні (МКС-72)	[180]	2890... ...3120	$2,1-190 \cdot 10^{-6}t$	$0,79+42 \cdot 10^{-5}t$	6...8	≥ 1500	глиноземні (Al ₂ O ₃ >72%, Fe ₂ O ₃ <1,5%)
Вогнетриви мулітокорундові (МКС-85)	[180]	2340... ...2520	$1,12+44,4 \cdot 10^{-5}t$	$0,84+25,1 \cdot 10^{-5}t$	4,6...5,8	1510... ...1600	алюмосилікатні (Al ₂ O ₃ >85%, Fe ₂ O ₃ <1,5%)
Шамотні та напівкислі загального призначення (ША, ШБ)	[183]	1830... ...1950	$0,84+58 \cdot 10^{-5}t$	$0,88+23 \cdot 10^{-5}t$	2,5...5,8	1300... ...1400	алюмосилікатні (Al ₂ O ₃ >30%, SiO ₂ <55%)
Електроплавильні баделейтокорундові вогнетриви (БК-33, БК-37, БК-41)	[179]	3500... ...3600	$4,3-150 \cdot 10^{-5}t$	$0,63+15,1 \cdot 10^{-5}t$	5,9...8,7	1650... ...1700	цирконисті (ZrO ₂ (33,5...41,3)%, SiO ₂ (13,3...12,5)%, Al ₂ O ₃ (51,5...44,5)%)

* - температура в градусах Кельвіна (К).

Виробництво базальтових волокон (штапельних і безперервних) пов'язано з високотемпературними тепловими процесами, що потребують застосування вогнетривких матеріалів [32]. Вироби з вогнетривких матеріалів поділяються за такими ознаками [177, 178]:

1. Хімічним та мінеральним складом.
2. Вогнетривкістю.
3. Пористістю.
4. Способом формування.
5. Формою та розмірами.

Залежно від хімічного та мінерального складів вогнетривкі вироби підрозділяються на типи і групи (Таблиця Б. 2) [177, 178].

Наводиться класифікація виробів за вогнетривкістю (Таблиця Б. 3) [177, 178].

Наводиться класифікація виробів за пористістю (Таблиця Б. 4) [177, 178].

Існують наступні способи формування вогнетривких виробів [177, 178]:

1. Пластичне пресування.
2. Сухе пресування.
3. Шлікернолітні.
4. Термопластичнопресовані.
5. Гарячепресовані.
6. Лиття павленої маси.
7. Пиляні.

У виробництві базальтових волокон застосовують вироби високовогнетривкі і вищої вогнетривкості:

1. Бадделеіто-корундові (бакори) [179] – в контакт з розплавом базальта.
2. Високоглиноземисті [180] – для кладки фідера.

Таблиця Б. 2 – Типи і групи вогнетривких матеріалів [177]

№ пп	Тип	Група	Вміст визначальних хімічних компонентів, %
1.	Кремнеземні [181]	Кварцове скло	SiO ₂ ~ 99%
		Динасові (тридиміто-кристобалітові на вапняному зв'язуючому)	SiO ₂ не менше 93%
2.	Алюмосилікатні (низько-, середнє- та високоглиноземні) [180, 183]	Напівкислі	Al ₂ O ₃ не менше 28%, решта SiO ₂
		Шамотні	Al ₂ O ₃ 28-45%
		Муліто-кремнеземисті	Al ₂ O ₃ 45-62%
		Мулітові	Al ₂ O ₃ 62-72%
		Муліто-корундові	Al ₂ O ₃ 72-90%
		Корундові (корвішіт)	Al ₂ O ₃ более 90%
3.	Магнезіальні [184]	Магнезитові	MgO не менше 90%
4.	Магнезито-шпінелідні [185]	Магнезито-хромисті	MgO більше 60%, Cr ₂ O ₃ 5-8%
		Хромомагнезитові	MgO 40-60%, Cr ₂ O ₃ 15-30%
5.	Магнезіально-силікатні [178]	Форстеритові	MgO 50-65%, SiO ₂ 25-35%
6.	Вуглецеві [178]	Вуглецево графітізовані	C вище 98%
7.	Цирконисті [179]	Цирконієві (бадделеїтові)	ZrO ₂ вище 90%
		Бадделеїто-корундові (бакори)	ZrO ₂ більше 30%, Al ₂ O ₃ до 65%

Таблиця Б. 3 – Класифікація виробів за вогнетривкістю [177]

№ пп	Найменування виробу	Вогнетривкість, °С	Групи виробів
1.	Вогнетривкі	Від 1580 до 1770 °С	Динас, шамот, напівкислі, форстерит
2.	Високовогнетривкі	Від 1770 до 2000 °С	Високоглиноземні, магне- зіальні, магнезітохромі- тові, хромомагнезитові
3.	Найвищої вогнетривкості	Більше 2000 °С	Бадделеіто-корундові

Таблиця Б. 4 - Класифікація виробів за пористістю [177]

№ пп	Найменування виробу	Пористість, %
1.	Особливощільні	Не більше 3
2.	Високощільні	3-10
3.	Щільні	10-16
4.	Ущільнені	16-20
5.	Звичайні:	
	1-ої підгрупи	20-24
	2-ої підгрупи	24-30
6.	Легкі	45-85
7.	Ультралегкі	Більше 85

Додаток В Властивості теплоізоляційних матеріалів

Таблиця В.1 Характеристики теплоізоляційних матеріалів [186]

Виріб	ρ , (кг/м ³)	λ , (Вт/м·К)	c_p , (кДж/(кг·К))	Примітка
Мати прошивні безобкладочні [164]	не більше 45	$0,0279+16,5 \cdot 10^{-5}t$	0,84	Температура застосування $t_3 \leq 900$ (°C)
Мати прошивні в оболонці зі склотканини, кремнеземної тканини, сітки Манье [164]	не більше 45	$0,0279+16,5 \cdot 10^{-5}t$	0,84	$t_3 \leq 750$ (°C)
Мати мінераловатні прошивні будівельні	не більше 100	$0,0412+13,2 \cdot 10^{-5}t$	0,84	$t_3 \leq 450$ (°C)
Плити напівжорсткі теплоізоляційні	140	$0,0357+14,6 \cdot 10^{-5}t$	0,84	$t_3 \leq 900$ (°C)
Плити жорсткі теплоізоляційні	270	$0,0375+15,0 \cdot 10^{-5}t$	0,84	$t_3 \leq 900$ (°C)
Плити теплоізоляційні базальтові	150 ...250	$0,0419+13,9 \cdot 10^{-5}t$	0,84	$t_3 \leq 900$ (°C)
Картон ТК-1	до 270	$0,0375+15,03 \cdot 10^{-5}t$	0,84	$t_3 \leq 850$ (°C)


Акт впровадження

введення в промислову підконтрольну експлуатацію дослідно-промислового зразка нового енергоефективного агрегату з виробництва БСТВ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор
ТОВ ВКП «Чернівецький завод
«Чернівецький завод теплоізоляційних матеріалів»
С.В. Тимчишин

25 листопада 2015 р.



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Ми, що підписалися нижче, від Інституту технічної теплофізики НАН України зав. відділом ТМО ВР Тимошенко А.В., науковий співр. Гулієнко О.В., пров. інженер Тимошенко С.В. та від ТОВ ВКП «Чернівецький завод теплоізоляційних матеріалів» начальник цеху БСТВ Ходарев В.Г., головний механік Євтерев С.В. склали цей акт про те, що спільно створений дослідно-промисловий зразок нового енергоефективного агрегату другого покоління з виробництва базальтового супертонкого волокна (БСТВ) за дуплексе-технологією, **введений в промислову підконтрольну експлуатацію.**

Розроблені ІТТФ методи комплексної інтенсифікації тепломасообмінних процесів багата-стадійної технології виробництва БСТВ, спрямовані на значне зниження витрат природного газу, та інноваційні пристрої для їх апаратурного оформлення, склали фундаментальну науково-технічну основу нового агрегату.

Агрегат містить у своєму складі:

- дві нові уніфіковані базальтоплавильні печі ППБ-2РГ, які у порівнянні з печами першого покоління дозволили знизити витрати природного газу у 4 рази;
- дві нові уніфіковані установки для розплавлення і роздування базальтових ниток з одержанням БСТВ, які у порівнянні з установками першого покоління дозволили знизити витрату природного газу на 30%.

В новому агрегаті застосовані наступні інноваційні технічні рішення:

- оптимізація топкових процесів в полум'яному просторі печі;
- система регенерації потенціалу продуктів згоряння з підігрівом окисника до температур 1000÷1100 °С з застосуванням комбінованих двоступеневих регенеративних теплообмінних апаратів інтегрованих у конструкцію печі;
- система керованого охолодження футеровки печі з утворенням захисного гарнісажного шару на поверхні ванни розплаву базальту з утилізацією теплоти для підігріву газоповітряної суміші в установках для розплавлення і роздування базальтових ниток;

- закрыта система дозування базальтової крихти, що забезпечує попереднє підігрівання сировини, сприяє стабілізації температури в топковому просторі печі та істотно зменшує некерований газообмін;

- система охолодження камер роздуву газоповітряною сумішшю та пористі газоохолоджувальні пальникові пристрої, які дозволили відмовитись від водяного охолодження і пов'язаних з ним витрат рідини та теплової енергії;

- система безпеки, керування та автоматизації теплових процесів агрегату з функціями підтримання потужності та складу газоповітряної суміші.

Новий енергоефективний агрегат другого покоління з виробництва БСТВ за дуплекс-технологією забезпечує досягнення наступних теплотехнологічних характеристик:

- теплова потужність	570 кВт;
- встановлена електрична потужність	120 кВт;
- споживання стисненого повітря (надлишковим тиском 30 кПа)	870 кг/год.;
- споживання води в системі охолодження	12,5 м ³ /год.;
- досягнута продуктивність	520 кг/добу.

Досягнуті результати дозволили знизити споживання природного газу на виробництво кінцевої продукції у 1,5 рази, по відношенню до агрегату першого покоління.

Від ІТТФ НАН України

_____ Тимошенко А.В.
 _____ Гулієнко О.В.
 _____ Тимошенко Є.В.

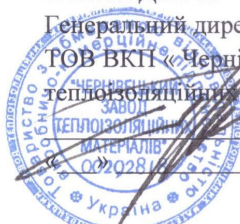
Від ТОВ ВКП « Чернівецький завод теплоізоляційних матеріалів »

_____ Ходарев В.Г.
 _____ Євтерев Є.В.

Акт впровадження

введення в промислову підконтрольну експлуатацію модернізовану конвеєрну установку для сушки плоских напівжорстких теплоізоляційних виробів на основі базальтового супертонкого волокна

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Генеральний директор
 ТОВ ВКП «Чернівецький завод
 теплоізоляційних матеріалів»
 С.В. Тимчишин
 2016 р.



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Ми, що підписалися нижче, від Інституту технічної теплофізики НАН України пров. наук. співробітник відділу ТМО ВР Тимошенко А.В., науковий співр. Гулієнко О.В., пров. інженер Тимошенко Є.В. та від ТОВ ВКП « Чернівецький завод теплоізоляційних матеріалів » начальник з виробництва Кемаєв В.Ф., головний механік Євтерев Є.В. склали цей акт про те, що модернізована конвеєрна установка для сушки плоских напівжорстких теплоізоляційних виробів на основі базальтового супертонкого волокна, **введена в промислову підконтрольну експлуатацію.**

Розроблені ІТТФ методи інтенсифікації тепломасообмінних процесів в технології виробництва плоских напівжорстких теплоізоляційних базальто-бентонітових виробів, спрямовані на збільшення питомого навантаження внутрішнього об'єму установки по випареній волозі та зменшення питомих енергетичних витрат на 1 кг випареної волозі, склали науково-технічну основу інноваційної модернізації установки.

При модернізації установки застосовано наступні інноваційні рішення:

- з метою збільшення циркуляції теплоносія в сушильній камері та інтенсифікації зовнішніх коефіцієнтів тепломасообміну з поверхні матеріалу змінено потужність та місця розташування газових пальників;
- інтенсифіковано процеси приготування теплоносія – суміші продуктів згоряння та атмосферного повітря, що дозволило зменшити зону масообміну, та підвищити температурний рівень теплоносія;
- інтенсифікація процесів приготування теплоносія та зовнішніх коефіцієнтів тепломасообміну дозволила на 27% зменшити внутрішній об'єм сушильної камери

Одержано наступні показники призначення: і) готова продукція – плоскі напівжорсткі базальтобентонітові теплоізоляційні вироби, товщиною 5, 10, 14, 19 мм; ii) продуктивність по готовій продукції – 21-23 ст. м³/добу; iii) теплова потужність установки – 2,0 МВт; iv) встановлена електрична потужність установки – 110 кВт.

Проведені роботи дозволили на 25-35% збільшити продуктивність установки по готовій продукції та на 15% знизити величину питомих енергетичних витрат на одиницю випареної води.

Від ІТТФ НАН України

_____ Тимошенко А.В.
_____ Гулієнко О.В.
_____ Тимошенко Є.В.

Від ТОВ ВКП « Чернівецький завод теплоізоляційних матеріалів »

_____ Кемаєв В.Ф.
_____ Євтерев Є.В.

**Акт впровадження
введення в промислову підконтрольну експлуатацію дослідно-промислового
зразка нової енергоефективної модульної установки з виробництва ББВ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ІТТФ НАН України
академік НАН України

Ю. Ф. Снежкін
«»
2018 р.



ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор
ТОВ ВКП «Чернівецький завод
теплоізоляційних матеріалів»

С. В. Тимчишин
«27 вересня 2018 р.»



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Ми, що підписалися нижче, від Інституту технічної теплофізики НАН України, відділ тепломасообмінних процесів та устаткування (ТМО ПУ), пров. наук. співробітник Тимощенко А.В., науковий співр. Гулієнко О.В., пров. інженер Тимощенко Є.В. та від ТОВ ВКП «Чернівецький завод теплоізоляційних матеріалів» начальник з виробництва Кємаєв В.Ф., головний механік Євтерев Є.В. склали цей акт про те, що спільно створена нова енергоефективна модульна дослідно-промислова установка виробництва базальтової безперервної комплексної нитки (дірект-ровінгу), **введена в промислову підконтрольну експлуатацію.**

Розроблені ІТТФ методи системної інтенсифікації тепломасообмінних процесів багатостадійної технології виробництва базальтової безперервної комплексної нитки, спрямовані на значне зниження витрат природного газу та підвищення якості дірект-ровінгу, та інноваційні пристрої для їх апаратурного оформлення, склали фундаментальну науково-технічну основу нової установки.

Інноваційний зміст робіт.

Новизна за способом:

- а) використання повітря (як окислювача в реакції спалювання) з температурою 800-1100 °С;
- б) організація процесів плавлення, гомогенізації, дегазації, течії та теплообміну розплаву базальту при температурах до 1550 °С;
- в) управління температурним полем в футеровці ванної плавильної печі (з можливістю утворення гарнісажного шару на поверхні розподілу «футеровка-розплав базальту»);
- г) гідродинамічна та термічна стабілізація параметрів розплаву базальту в місці формування безперервного базальтового волокна

Новизна по пристроях:

- а) високотемпературний двоступеневий керамічний регенеративний теплообмінний апарат;
- б) високотемпературний регенеративний газовий пальник;

- в) модульна газоопалювальна ванна піч для плавлення базальту регенеративного типу;
- г) корпус-теплообмінник ванної плавильної печі з повітряним охолодженням;
- д) двоступенева система живлення вузла вироблення безперервної базальтової нитки з електрообігрівом та 200 фільтрним живильником;
- е) система дозування та завантаження сировини;
- ж) система безпеки, керування та автоматизації теплових процесів установки з функціями підтримання потужності та складу газоповітряної суміші.

Дослідно-промислому зразку нової енергоефективної модульної установки виробництва базальтової безперервної комплексної нитки (дірект-ровінгу), відповідають наступні показники призначення:

- теплова потужність ванної плавильної печі	до 70 кВт;
- встановлена електрична потужність	до 30 кВт;
- одержана продуктивність дірект-ровінгу	6,5 кг/год.;
- одержаний діапазон діаметрів елементарних волокон	13-20 мкм;
- споживання стисненого повітря (надлишковим тиском 1,0 МПа)	до 270 дм ³ /хв.;
- об'ємна витрата води в системі охолодження	2,0 м ³ /год.

Під час дослідно-промислової підконтрольної експлуатації одержано наступні питомі показники з енергоспоживання на кг дірект-ровінгу:

- питоме споживання природного газу	0,8 ст. м ³ /кг;
- питоме споживання електрики	3,0 кВт*год./кг.

Досягнуті результати дозволили знизити у 2 рази споживання природного газу на виробництво дірект-ровінгу по відношенню до установок модульного типу. Крім того, середня міцність елементарного базальтового волокна одержаного на дослідно-промисловій установці, у 1,2-1,4 рази вища за аналогічний показник для елементарних волокон одержаних на існуючих модульних установках.

Від ІТТФ НАН України

_____ Тимошенко А.В.
 _____ Гулієнко О.В.
 _____ Тимошенко Є.В.

Від ТОВ ВКП « Чернівецький завод теплоізоляційних матеріалів »

_____ Кемаєв В.Ф.
 _____ Євтерев Є.В.

**Акт випробувань
дослідних зразків теплоізоляційних конструкцій**

<p>«ЗАТВЕРДЖУЮ» Головний інженер СО ПАТ «Донбасенерго» «Донбасенергоспецремонт» С.О. Єсіонова «_____» _____ 2019 р.</p> 	<p>«ПОГОДЖУЮ» Директор ТОВ ВКП «Чернівецький завод теплоізоляційних матеріалів» С.В. Тимчишин «_____» _____ 2019 р.</p> 
<p>«ПОГОДЖУЮ» Головний інженер заст. директора СО ПАТ «Донбасенерго» «Слов'янська ТЕС» І.В. Бас «_____» _____ 2019 р.</p> 	<p>«ПОГОДЖУЮ» Директор ІТТФ НАН України академік НАН України Ю.Ф. Снежкін «_____» _____ 2019 р.</p> 

Акт випробувань дослідних зразків теплоізоляційних конструкцій

Ми, що підписалися нижче,
від ТОВ ВКП «Чернівецький завод теплоізоляційних матеріалів»
начальник з виробництва Кемасв В.Ф.,
від ІТТФ НАН України
провідний науковий співробітник Тимощенко А.В., провідний науковий
співробітник Гончарук С.М.,
від СО ПАТ «Донбасенерго» «Донбасенергоспецремонт»
начальник виробничо-технічного відділу Сокрут А.О., начальник виробничої
лабораторії Медведкіна І.В., начальник відділу матеріально-технічного забезпе-
чення на постачання Орел О.І., заступник начальника Слов'янського цеху Баглик
В.Д., інженер виробничо-технічного відділу Зіборов В.В.,
від СО ПАТ «Донбасенерго» Слов'янська ТЕС
заступник начальника з експлуатації котлотурбінного цеху Проскурін Д.С.,
заступник головного інженера з ремонту Прядченко Р.В.

склали цей акт про те, що з метою оцінки ефективності роботи теплової ізо-
ляції (ТІ), виконаної з різних матеріалів, протягом тривалої підконтрольної

експлуатації, визначення температур поверхні та сумарних втрат теплоти через ТІ, та паспортизації ТІ, створено дослідні зразки теплоізоляційних конструкцій (далі конструкцій), на ділянці горизонтального трубопроводу гострої пари, блок 7, котел 7А. Зразки дослідних конструкцій відносяться до збірних некомплектних конструкцій виконаних без покривного шару. В якості матеріалу основного теплоізоляційного шару використовуються рулонні волокнисті матеріали. Зразок 1 конструкції виконано з матів прошивних безобкладкових (МТПБа) (ТУ У В.2.7-23.9-00292818-001:2012), зразок 2 конструкції – з матів ROCKWOOL PROROX WM 920 (PROWM920CZ-03 0751-CPR.2-039.1-01 MW-EN 14303-T2-ST(+)-500-WS1-CL10). Опис та геометричні характеристики дослідних конструкцій подаються в додатку А.

При виконанні роботи, в місці розташування дослідних зразків конструкції визначались параметри навколишнього середовища, вимірювалась температура зовнішньої поверхні конструкції та розраховувались величини втрат теплоти ТІ, оцінювався вплив властивостей дослідних поверхонь на результати вимірювань. Роботою передбачається періодичне обстеження дослідних ділянок теплоізоляційної конструкції з метою вивчення динаміки показників ефективності ТІ. Методи одержання даних та методики їх обробки наводяться в додатку Б.

Результати вимірювань (від 31.05.2019 р.) параметрів ТІ та навколишнього середовища, а також розрахунків величини втрат теплоти через ТІ наводяться в додатку В. При виконанні роботи та аналізі одержаних результатів дотримувались вимог та рекомендацій галузевих нормативних документів, перелік яких наводиться в додатку Г. Перелік контрольно-вимірювальних приладів, що використовувались під час виконання роботи, наводиться в додатку Д.

Встановлено, що:

Зразок 1 дослідної теплоізоляційної конструкції задовольняє вимогу максимальної температури поверхні – приведена температура поверхні зразка становить 48 °С, та вимогу економічної густини теплового потоку – приведена питома втрата теплоти через конструкцію перевищує нормативне значення на 11% (менше 15%), та становить 531 Вт/м, стан ізоляції вважається задовільним і на неї може бути складений паспорт (п. 8.6, РД 34.20.321).

Зразок 2 дослідної теплоізоляційної конструкції не задовольняє вимогу максимальної температури поверхні – приведена температура поверхні зразка

становить $54,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, та перевищує допустиму температуру поверхні на $6,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Фактичні втрати теплоти з поверхні зразка перевищують нормативне значення економічної густини теплового потоку на 51% (попадають до діапазону значень 15-60%) та становлять 725 Вт/м . На дослідну теплоізоляційну конструкцію може видаватися тимчасовий паспорт терміном на 1 рік, протягом цього періоду повинні бути усунені всі дефекти теплової ізоляції (п. 8.6, РД 34.20.321).

Врахування покривного шару на незначну величину покращує теплозахисні властивості дослідних конструкцій. Для зразка 1 приведена температура поверхні дослідної конструкції становитиме $47,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, приведені втрати теплоти з поверхні зразка – 528 Вт/м , перевищення фактичної величини теплового потоку над економічно обґрунтованою величиною складе 9,5%. Для зразка 2 приведена температура поверхні становитиме $54,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, приведені втрати теплоти з поверхні зразка – 715 Вт/м , перевищення фактичної величини теплового потоку над економічно обґрунтованою величиною складе 49%. Одержані результати не відмінюють висновків, зроблених вище, стосовно ефективності роботи дослідних зразків теплоізоляційних конструкцій.

Варіювання величинами коефіцієнту випромінення та відображеної температури (reflect temperature) поверхні призводить до зміни величини виміряної температури поверхні ПІ. Зменшення величини коефіцієнту випромінення поверхні призводить до збільшення величини виміряної температури поверхні ПІ. Величина зміни виміряної температури поверхні $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (діапазон зміни коефіцієнту випромінення 0,96-0,90). Збільшення величини відображеної температури поверхні призводить до зменшення величини виміряної температури поверхні ПІ. Величина зміни виміряної температури поверхні $\pm 0,35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (діапазон зміни відображеної температури поверхні $40\text{-}60\text{ }^{\circ}\text{C}$). Зміна характеристик поверхні дослідної системи не призводить до якісної зміни основних показників ефективності дослідної теплоізоляційної конструкції. Висновки, що зроблено при фіксованих середніх значеннях коефіцієнту випромінення та відображеної температури поверхні залишаються актуальними для всього діапазону їх зміни.

Висновки:

Дослідна теплоізоляційна конструкція виконана з матів прошивних безобкладкових МТПБа, зразок 1, задовольняє нормативним вимогам, за

результатами випробувань може бути складений паспорт ТІ, дійсний протягом всього періоду до наступного капітального ремонту.

Дослідна теплоізоляційна конструкція виконана з матів ROCKWOOL PROROX WM 920, зразок 2, **не задовольняє нормативним вимогам**. Термічний опір основного теплоізоляційного шару має бути збільшений. На теплоізоляційну конструкцію може видаватись тимчасовий паспорт, терміном до 1 року, протягом цього періоду мають бути усунені всі дефекти ТІ.

Рекомендації:

Приймаючи до уваги основну мету роботи – вивчення динаміки показників ефективності дослідних теплоізоляційних конструкцій, потрібна їх подальша тривала підконтрольна експлуатація.

Від ТОВ ВКП « Чернівецький завод теплоізоляційних матеріалів »



Кемаєв В.Ф.

Від ІТТФ НАН України



Тимошенко А.В.

Гончарук С.М.

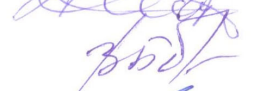
Від СО ПАТ «Донбасенерго» «Донбасенергоспецремонт»



Сокрут А.О.



Медведкіна І.В.



Орел О.І.



Баглик В.Д.



Зіборов В.В.

Від СО ПАТ «Донбасенерго» Слов'янська ТЕС



Проскурін Д.Є.

Прядченко Р.В.