

**ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ЗАСТОСУВАННЯ СЕНДВІЧ-
ПАНЕЛЕЙ RUUKKI В ЗОВНІШНІХ СТІНАХ БУДІВЕЛЬ
ХОЛОДИЛЬНИКІВ**

**DEFINITION OF BOUNDARIES OF SANDWICH PANELS
RUUKKI'S EXTERIOR WALLS REFRIGERATOR**

Юрін О.І., к.т.н., доцент., Галінська А.Г. студентка Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Jurin O.I., Ph.D., Galinska A.G., student Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

Подано результати теоретичних досліджень амплітуди коливань температури на внутрішній поверхні сандвіч-панелей та можливості утворення на ній конденсату. Виявлені межі застосування сандвіч-панелей для зовнішніх стін будівель холодильників.

Submitted the theoretical study of sandwich panels used in certain limits for outside walls refrigerated buildings. Ruukki sandwich panels SP2D PU.1 mark have been consider which match with current standards for resistance to heat exchange. The condense temperature of water vapor on the inside surface of the collision wall accepted like measure of used limits. Minimum temperature of this surface was determining with considering of amplitude of its oscillation during a day. The temperature of inner air was accepting in 0°C - $(-30)^{\circ}\text{C}$ limit, which are characterized for most of refrigerated buildings. Relative air humidity accepted like 95% which match with maximum one by technological storage condition the most of foods. The outside temperature was accepting in 0°C - $(-30)^{\circ}\text{C}$ limit. Possible use of Ruukki sandwich panels in specific temperature-humidity conditions of inner and outside air was determine. Recommendations were provided for the maximum air humidity inside the building under which used of sandwich panels in refrigerated buildings can be possible. Minimum resistances of sandwich panels to heat exchange which provide absence of condensation on the surface was determine. Intended possible ways to extend limits for used of sandwich panels on outside walls refrigerated buildings.

Ключові слова: амплітуда, температура внутрішньої поверхні зовнішнього огородження, точка роси, сандвіч-панель.

Keywords: amplitude, temperature of the inner surface of the outer fence, dew point, sandwich panel.

Вступ. В наш час значного поширення набули зовнішні огороджувальні конструкції будівель із застосуванням сандвіч-панелей. Застосування цих конструкцій мають ряд переваг. В той же час одним зі «слабких» місць у них є мала, порівняно із традиційними зовнішніми огороджувальними конструкціями із застосуванням цегли та бетону, теплостійкість, що пов'язана з меншою величиною теплової інерції. Особливо це позначається у зимовий період коли амплітуда коливань температури на внутрішній поверхні огородження може призвести до зниження цієї температури нижче точки роси. Вірогідність цього збільшується при високій відносній вологості внутрішнього повітря та значному перепаду температур внутрішнього та зовнішнього повітря. Висока відносна вологість внутрішнього повітря характерна для промислових будівель із «вологим» та «мокрим» тепловологісним режимом приміщень, неопалювальних гаражів та будівель холодильників.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.

Проблемам теплостійкості огороджувальних конструкцій присвячена значна кількість наукових праць. За останній час опубліковані результати дослідження теплостійкості зовнішніх огороджувальних конструкцій із [1,2].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.

В публікаціях присвячених дослідженню теплостійкості огороджувальних конструкцій із застосуванням сандвіч-панелей розглядався літній режим. Вплив коливання температури внутрішньої поверхні сандвіч-панелі на можливість зниження її нижче точки роси в цих роботах не досліджувалася.

Постановка завдання. Метою роботи було визначити межі застосування сандвіч-панелей в огороджувальних конструкціях будівель холодильників з різними температурно-вологісними режимами. За критерій доцільності застосування була прийнята відсутність конденсації на внутрішній поверхні панелей.

Основний матеріал і результати. Для дослідження була прийнята конструкція сандвіч-панелі фірми Ruukki марки SP2D PU [3] наведена на рисунку 1.

В якості утеплювача в панелях застосовується пінополіуретан щільністю $10,3 \div 12,4 \text{ кг/м}^3$ з коефіцієнтом теплопровідності $0,022 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ та коефіцієнтом теплосасвоєння

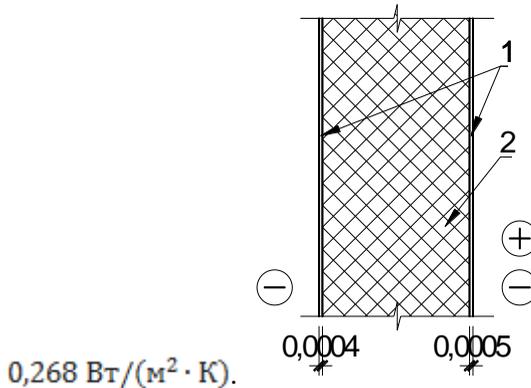


Рис. 1. Конструкція сандвіч-панелі фірми Ruukki марки SP2D PU. 1 – сталева облицювальна профільна обшивка; 2 – утеплювач

Основні характеристики панелей марки SP2D PU наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Основні характеристики панелей марки SP2D PU

Найменування показника	Одиниця вимірювання	Кількість			
		0,06	0,08	0,1	0,12
Товщина панелей	м	0,06	0,08	0,1	0,12
Коефіцієнт теплопередачі	$\text{Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$	0,35	0,26	0,22	0,18
Опір теплопередачі	$\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт)}$	2,857	3,846	4,55	5,556

У дослідженнях розглядалися будівлі холодильників з температурами внутрішнього повітря від 0°C до -30°C . Так як з підвищенням відносної вологості внутрішнього повітря вірогідність утворення конденсату на внутрішній поверхні зовнішнього

огороження підвищується тому вона була прийнята максимально можливою за технологічними нормами – **95 %**.

Дослідження виконувалися для кліматичних умов Полтавської області. Температура зовнішнього повітря приймалася від **0 °С** (дорівнює самій високій температурі внутрішнього повітря) до **-30 °С** (температура найхолоднішої доби забезпеченістю 0,98).

Нормований опір теплопередачі зовнішніх стін будівель холодильників, що визначається за [4] для будівель холодильників з різною температурою внутрішнього повітря, опір теплопередачі сандвіч-панелей Ruukki, що відповідає цим нормам та їх товщина наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Нормований опір теплопередачі, опір теплопередачі сандвіч-панелей Ruukki, та їх товщина в залежності від температури внутрішнього повітря в будівлях холодильників

Температура внутрішнього повітря, °С	Нормований опір теплопередачі зовнішніх стін, Вт/(м ² · К)	Опір теплопередачі сандвіч-панелей Ruukki, Вт/(м ² · К)	Товщина сандвіч-панелей, м
-30	5,4	5,556	0,12
-25	5,1	5,556	0,12
-20	4,8	5,556	0,12
-15	4,55	4,55	0,1
-10	4,3	4,55	0,1
-5	3,7	3,846	0,08
0	3,3	3,846	0,08

Визначення амплітуди коливань температури на внутрішній поверхні огороження виконувалася за методикою наведеною у [5]. Дані з сонячної радіації та швидкості зовнішнього повітря приймалися для січня. Коефіцієнт поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції був прийнятим 0,8 (сталь листовая, пофарбована темно-червоною фарбою). Результати визначення амплітуди коливань температури на внутрішній поверхні сандвіч-панелей різної товщини наведені у таблиці 3.

Таблиця 3

Амплітуда коливань температури на внутрішній поверхні сандвіч-панелей в залежності від їх товщини

Товщина сандвіч-панелі, м	0,12	0,1	0,08
Амплітуда коливань температури на внутрішній поверхні сандвіч-панелей, °С	0,6	0,73	0,84

Температура на внутрішній поверхні сандвіч-панелей в залежності від температур внутрішнього та зовнішнього повітря наведена у таблиці 4.

Таблиця 4

Температура на внутрішній поверхні сандвіч-панелей

Температура внутрішнього повітря, °С	Температура на внутрішній поверхні сандвіч-панелей, °С, при температурі зовнішнього повітря						
	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
-30	-29,38	-29,48	-29,59	-29,69	-29,79	-29,90	-30,00
-25	-24,48	-24,59	-24,69	-24,79	-24,90	-25,00	-25,10
-20	-19,59	-19,69	-19,79	-19,90	-20,00	-20,10	-20,21
-15	-14,62	-14,75	-14,87	-15,00	-15,13	-15,25	-15,38
-10	-9,75	-9,87	-10,00	-10,13	-10,25	-10,38	-10,51
-5	-4,85	-5,00	-5,15	-5,30	-5,45	-5,60	-5,75
0	0,00	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60	-0,75	-0,90

Мінімально можлива температура на внутрішній поверхні сандвіч-панелей з урахуванням амплітуди її коливання наведена у таблиці 5. У цій же таблиці наведені значення точки роси для відповідних температур внутрішнього повітря при відносній вологості 95 %.

Таблиця 5

Мінімально можлива температура на внутрішній поверхні сандвіч-панелей з урахуванням амплітуди її коливання

Температура внутрішнього повітря, °С	Мінімально можлива температура на внутрішній поверхні сандвіч-панелей з урахуванням амплітуди її коливання, °С, при температурі зовнішнього повітря							Температура точки роси, °С
	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	
-30	-30,0	-30,1	-30,2	-30,3	-30,4	-30,5	-30,6	-30,5
-25	-25,1	-25,2	-25,3	-25,4	-25,5	-25,6	-25,7	-25,5

-20	-20,2	-20,3	-20,4	-20,5	-20,6	-20,7	-20,8	-20,5
-15	-15,4	-15,5	-15,6	-15,7	-15,9	-16,0	-16,1	-15,6
-10	-10,5	-10,6	-10,7	-10,9	-11,0	-11,1	-11,2	-10,6
-5	-5,7	-5,8	-6,0	-6,1	-6,3	-6,4	-6,6	-5,6
0	-0,8	-1,0	-1,1	-1,3	-1,4	-1,6	-1,7	-0,6

Як видно з таблиці існує значна область значень (помічена сірим кольором) зовнішньої температури при яких температура внутрішньої поверхні сандвіч-панелі менше точки роси. Тобто на поверхні відбувається утворення конденсату. А так як температура внутрішньої поверхні від'ємна, то на ній відбувається утворення льоду.

На рисунку 2 наведені графіки зміни температури на внутрішній поверхні огороження в залежності від температури внутрішнього та зовнішнього повітря.

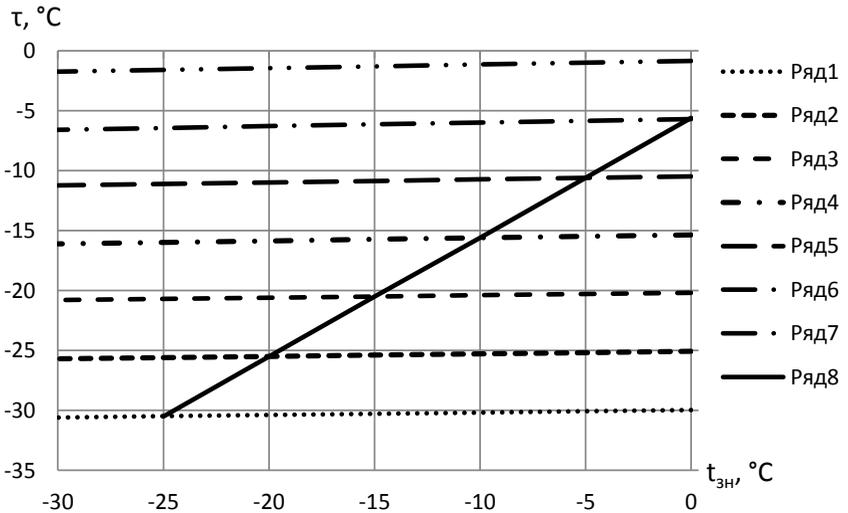


Рис. 2 Графіки зміни температури на внутрішній поверхні огороження в залежності від температури внутрішнього та зовнішнього повітря

- 1 ряд – $t_{в} = -30\text{ °C}$;
- 2 ряд – $t_{в} = -25\text{ °C}$;
- 3 ряд – $t_{в} = -20\text{ °C}$;
- 5 ряд – $t_{в} = -10\text{ °C}$;
- 6 ряд – $t_{в} = -5\text{ °C}$;
- 7 ряд – $t_{в} = 0\text{ °C}$;

4 ряд – $t_e = -15\text{ }^\circ\text{C}$; 8 ряд – межа утворення конденсату

Похила лінія це межа утворення конденсату. Точка перетину рафіка зміни температури на внутрішній поверхні сандвіч-панелі дає температуру зовнішнього повітря при якій буде відбуватися конденсація. Графіки розташовані вище похилої лінії показують температури внутрішнього та зовнішнього повітря при яких відбувається конденсація при відносній вологості внутрішнього повітря 95 %. Похила лінія є межею доцільності застосування сандвіч-панелей Ruukki у будівлях холодильників.

Збільшити межі застосування сандвіч-панелей у будівлях холодильників можливо за рахунок зменшення відносної вологості внутрішнього повітря. У таблиці 6 наведені найбільші можливі величини відносної вологості внутрішнього повітря при яких можливо використовувати сандвіч-панелі при розглянутому діапазоні температур зовнішнього повітря.

Таблиця 6

Максимальна відносна вологість внутрішнього повітря при якій можливо використання сандвіч-панелей у будівлях холодильників

Температура внутрішнього повітря, $^\circ\text{C}$	Відносна вологість внутрішнього повітря, %	Температура точки роси, $^\circ\text{C}$
-30	93	-30,7
-25	92	-25,8
-20	92	-20,9
-15	90	-16,2
-10	89	-11,3
-5	86	-6,7
0	86	-1,8

При відносній вологості внутрішнього повітря температура точки роси нижче температур внутрішньої поверхні сандвіч-панелей наведених у таблиці 5.

Іншим можливим способом збільшення меж використання сандвіч-панелей у будівлях холодильників є збільшення їх опору теплопередачі. Зі збільшенням опору теплопередачі збільшується теплова інерція огороження внаслідок чого зменшується амплітуда коливань температури на внутрішній поверхні огороження. Підтвердженням цього є і те, що Ruukki у [3] пропонує для

застосування у холодильних складах сандвіч-панелей із опором теплопередачі від $6,25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ до $11,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, що десь у 2 рази більше нормованих значень наведених у нормах [4].

Для запобігання утворення конденсату на внутрішній поверхні сандвіч-панелей необхідно, щоб опір теплопередачі їх був не менше наведених у таблиці 7. В таблиці 7 наведені також мінімально можливі температури на внутрішній поверхні сандвіч-панелей з урахуванням амплітуди її коливання $t_{в, \text{min}}$, що відповідають визначеним опорам теплопередачі.

Таблиця 7

Мінімально-необхідний опір теплопередачі сандвіч-панелей при якому на внутрішній їх поверхні не буде відбуватися конденсація водяної пари

Температура внутрішнього повітря, °С	Опір теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, сандвіч-панелі, що забезпечує температуру на внутрішній її поверхні вище точки роси, при температурі зовнішнього повітря							$t_{в, \text{min}}$, °С,	Температура точки роси, °С
	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30		
-30						6,7	7,8	-30,4	-30,5
-25					6,7	7,8	8,7	-25,4	-25,5
-20				6,7	7,8	8,7	9,4	-20,4	-20,5
-15			5,6	6,6	7,4	8,2	9,0	-15,5	-15,6
-10		5,6	6,6	7,4	8,2	9,0	9,8	-10,5	-10,6
-5	5,6	6,6	7,4	8,2	9,0	9,8	10,6	-5,5	-5,6
0	6,6	7,4	8,2	9,0	9,8	10,6	11,4	-0,5	-0,6

Як видно з таблиці 7 при одноковій температурі зовнішнього повітря та підвищенні внутрішньої температури опір теплопередачі сандвіч-панелі при якому не відбувається конденсація на її внутрішній поверхні збільшується. Для пояснення цього явища розглянемо графіки зміни температури по перетину огороження наведені на рисунку 3 при $t_{\text{зв}} = -30 \text{ °С}$ та $t_{\text{в}} = -30 \text{ °С}$ і $t_{\text{в}} = -20 \text{ °С}$. Для більшої наочності на рисунку 3 показана лише ділянка зміни температури біля внутрішньої поверхні.

Як видно з графіків на рисунку 3 при $t_{\text{в}} = -30 \text{ °С}$ (рис. 7 а) мінімальна температура внутрішньої поверхні сандвіч-панелі більше температури точки роси (конденсація не відбувається), а при $t_{\text{в}} = -20 \text{ °С}$ (рис. 7 б) навпаки. Тобто для запобігання утворення

конденсату при більш високій температурі внутрішнього повітря необхідно збільшувати опір теплопередачі огороження.

Аналіз даних наведених у таблиці 7 показує, що для уникнення утворення конденсату на внутрішній поверхні сандвіч-панелей необхідне значне збільшення опору теплопередачі. Цей спосіб слід визнати не економічним.

Більш простим способом уникнення утворення конденсату є застосування утеплювачів з більшим коефіцієнтом теплозасвоєння.

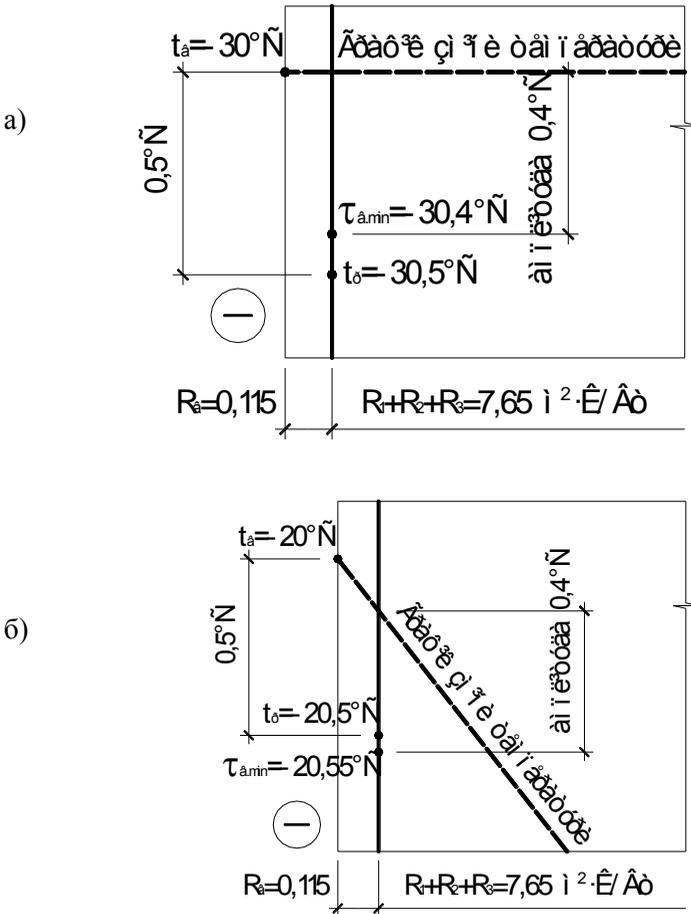


Рис. 3 Графіки зміни температури при:

a) $t_a = -30^\circ\text{C}$; б) $t_a = -20^\circ\text{C}$

Висновки:

1. Сандвіч-панелі фірми Ruukki з опором теплопередачі, що відповідає нормам наведеним у [5] можливо використовувати не при всіх температурно-вологісних умовах внутрішнього повітря будівель холодильників. У деяких випадках при відносній вологості внутрішнього повітря близькій до 95 % на їх внутрішній поверхні відбувається утворення конденсату (табл. 5).

2. Панелі можна використовувати при менших значеннях відносної вологості внутрішнього повітря (табл. 6).

3. Збільшення опору теплопередачі сандвіч-панелей для запобігання утворення конденсату на їх внутрішній поверхні слід визнати економічно недоцільним, особливо для будівель з температурою внутрішнього повітря від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Але це не відмінняє необхідність перегляду існуючих норм теплопередачі, стосовно огорожувальних конструкцій будівель холодильників, в бік їх збільшення, що діють з 1988 року.

4. Можливим способом запобігання утворення конденсату є також застосування утеплювачів із більшим коефіцієнтом теплозасвоєння та використання сандвіч-панелей із світлим кольором зовнішньої поверхні. Визначення величини впливу цих показників на можливість утворення конденсату потребують додаткових досліджень.

1. Олейников П.П. Исследование теплозащитных свойств экранируемых наружных стен зданий промышленных холодильников в условиях юга России: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук / П.П. Олейников – Волгоград. : МИСИ, 2006. – 15 с.

2. Иванова Ю.В. Разработка внутренних утеплительных панелей для наружных стен реконструируемых зданий: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук / Ю.В. Иванова – Санкт-Петербург. : Санкт-Петербургский государственный архитектурный университет, 2002. – 18 с.

3. Ruukki. Энергоэффективные решения из стали. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ruukki.com.ua>

4. СНиП 2.11.02 – 87. Холодильники/Госстрой СССР. –М.: ЦИТП Госстрой СССР, 1988. – 8 с.

5. ДБН В.2.6-31:2006 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. – К.: Держбуд України, 2006. – 71 с.